

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Statický posudek prostorové rámové konstrukce
v seizmicky aktivním území

Static assessment of the three-dimensional frame structure in seismic
active area

Vypracovala:

Jana Šlancarová

Vedoucí práce:

doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D.

2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Veškeré použité podklady, ze kterých jsem čerpala informace, jsou uvedeny v seznamu použité literatury a citovány v textu podle normy ČSN ISO 690

V Ostravě dne 4. 5. 2018

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 4. 5. 2018

.....

podpis studenta

Poděkování:

Děkuji panu doc. Ing. Vítu Křivému, Ph.D. za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady a veškerý čas při konzultacích s vypracováním bakalářské práce.

Anotace

V rámci bakalářské práce je vypracován statický posudek prostorové rámové konstrukce v seizmicky aktivním území, která slouží pro uchycení a obsluhu technologie pro výrobu plastových fólií.

Základní posudek je nejprve uvažován pro konstrukci neovlivněnou seismickými účinky, přičemž geometrie konstrukce a zatěžovací údaje jsou převzaty z podkladů společnosti Institut ocelových konstrukcí, spol. s.r.o. Konstrukce je navržena jako ocelová. Model konstrukce je proveden pomocí programu SCIA Engineer.

Druhou částí práce je stručný úvod do problematiky seismicity dle ČSN EN 1998-1, včetně názorného výpočtu seismického zatížení pro posuzovanou konstrukci. Je vypracována studie, která hodnotí vliv tohoto seismického zatížení za různé intenzity na návrh rozhodujících nosných prvků konstrukce.

Klíčová slova

rámová konstrukce, ocel, seizmicita, statický posudek, studie

Annotation

The bachelor thesis elaborates a static assessment of the three-dimensional frame structure in seismic active area, which serves for the attachment and operation of technology for plastic film rolls production.

Primary assessment is considered for structure without seismic effects. The geometry of the structure and load data were taken from the documents of the company Institut ocelových konstrukcí, spol. s.r.o. The structure is made of steel. The structure model is created using SCIA Engineer program.

The second part of the thesis is a brief introduction to the issue of seismicity according to ČSN EN 1998-1, including an illustrative calculation of the seismic load for the assessed structure. A study is carried out in order to evaluate the effect of the seismic load at different intensities on the designed decisive supporting elements of the structure.

Keywords

frame structure, steel, seismicity, static assessment, study

Obsah

1	Úvod	9
2	Statický posudek konstrukce neovlivněné seismickými účinky	10
2.1	Geometrie konstrukce	11
2.1.1	Půdorysy	11
2.1.2	Sloupy	14
2.1.3	Schodiště	15
2.2	Zatížení	16
2.2.1	Zatěžovací stavy	16
2.2.2	Skupiny zatížení	17
2.2.3	Kombinace zatížení	17
2.3	Posudek vybraných nosných prvků konstrukce	31
2.3.1	Sloup HEB 300	31
2.3.2	Průvlak IPE 360 + Ivar 250	37
2.3.3	Nosník IPE 300	42
2.3.4	Schodišťový nosník UNP 200	46
2.4	Posouzení na mezní stav použitelnosti	51
2.4.1	MSP – průvlaky, nosníky	51
2.4.2	MSP – sloupy	52
2.5	Posudek vybraných spojů	53
2.5.1	Přípoj průvlaku na sloup	53
2.5.2	Přípoj nosníku na průvlak	58
2.5.3	Kloubový přípoj nosníků	60
3	Seismicita	63
3.1	Návrh konstrukce v seismicky aktivním území	63
3.2	Požadavky na konstrukce	63
3.2.1	Požadavek vyloučení zřícení	63
3.2.2	Požadavek omezeného poškození	63
3.2.3	Mezní stav únosnosti	63
3.2.4	Mezní stav omezeného poškození	63
3.3	Základové podmínky a seismické zatížení	64
3.3.1	Typy základových půd	64
3.3.2	Seismické zatížení	64
3.4	Metody výpočtu	69
3.4.1	Metoda příčných sil	69
3.4.2	Modální analýza pomocí spektra odezvy	71

3.4.3	Nelineární metody.....	71
3.5	Kombinace účinků složek seismického zatížení.....	71
4	Aplikace metody příčných sil na posuzovanou konstrukci	72
4.1	Návrhové zrychlení	72
4.2	Návrhové spektrum odezvy.....	72
4.3	Kombinace hmot	72
4.4	Výpočet ve směru osy Y	73
4.4.1	Základní perioda vlastních kmitů	73
4.4.2	Smyková síla.....	74
4.4.3	Rozdělení smykové síly	74
4.4.4	Zatěžovací stavy od seismicity ve směru osy Y	75
4.5	Výpočet ve směru osy X	75
4.5.1	Základní perioda vlastních kmitů	75
4.5.2	Rozdělení smykové síly	76
4.5.3	Zatěžovací stavy od seismicity ve směru osy X	77
4.6	Kombinace zatížení.....	77
4.7	Vyhodnocení	78
5	Studie.....	80
6	Závěr.....	85
7	Seznam použitých norem a podkladů.....	86
7.1	Použité normy	86
7.2	Podklady.....	86
8	Seznam obrázků a tabulek	87
8.1	Obrázky	87
8.2	Tabulky	89
9	Seznam příloh.....	89
9.1	Výkresy	89

1 Úvod

Cílem bakalářské práce je posoudit prostorovou rámovou konstrukci, která slouží k uchycení a obsluze technologie pro výrobu plastových fólií na mezní stav únosnosti a použitelnosti.

Práce je rozdělena do dvou částí. Nejprve je proveden statický posudek pro konstrukci neovlivněnou seismickými účinky. Do výpočtu tak nevstupují žádné vodorovné síly od seismicity ani od zatížení větrem. Proto jsou pro tento posudek zavedeny imperfekce, které odpovídají globálním imperfekcím 1/20 rad. Na požadavek zadavatele jsou navíc provedeny 2 posudky použitelnosti pro maximální posuny horní plošiny. Model je vytvořen v programu SCIA Engineer, přičemž geometrie konstrukce a zatěžovací údaje jsou převzaty z dokumentů společnosti Institut ocelových konstrukcí spol. s r. o.

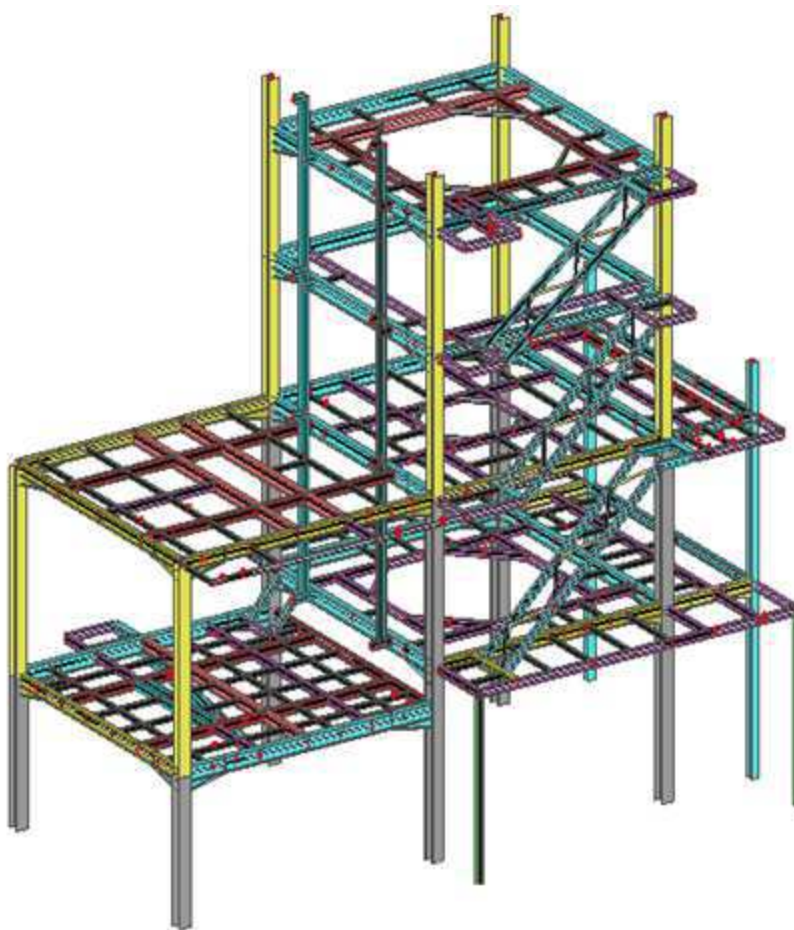
Druhá část obsahuje seznámení s problematikou seismicity. Obecně je vysvětleno, jak se stanovuje velikost zatížení a jeho účinky v určitých oblastech a postup výpočtu metodou příčných sil. Následně je tento postup názorně proveden na výpočet seismického zatížení působící na posuzovanou konstrukci. Vlastní tvary kmitání konstrukce, potažmo základní periody kmitů jsou zjištěny modální analýzou pomocí programu SCIA Engineer. Vypočtené seismické síly se následně zahrnou do modelu a provede se posouzení.

Je vypracována studie, která hodnotí vliv seismicity na návrh rozhodujících nosných prvků konstrukce. Zatížení seismicitou může nabývat různých hodnot vzhledem k proměnlivosti základových podmínek, ve kterých se posuzovaná konstrukce nachází. Pro každou oblast platí charakteristické referenční zrychlení, stratigrafický profil a vhodný typ spektra pružné odezvy, které se má použít pro stanovení parametrů. Studie se zaměřuje na porovnání vlivu seismického zatížení za zvyšujícího se návrhového zrychlení.

2 Statický posudek konstrukce neovlivněné seismickými účinky

Cílem statického posudku je posouzení nosné konstrukce, která slouží k uchycení a obsluze technologie pro výrobu plastových fólií. Základní statický posudek je uvažován pro konstrukci neovlivněnou seismickými účinky. Součástí posudku je i posouzení vybraných spojů. Rozměry a geometrie konstrukce a hodnoty zatížení jsou převzaty z podkladů společnosti Institut ocelových konstrukcí, spol. s.r.o.

Celá konstrukce je navržena jako ocelová. Všechny nosné prvky jsou navrženy z oceli jakosti S235J0. Šrouby jsou z materiálu 10.9.















Obr. 1 - Model posuzované konstrukce

2.1 Geometrie konstrukce

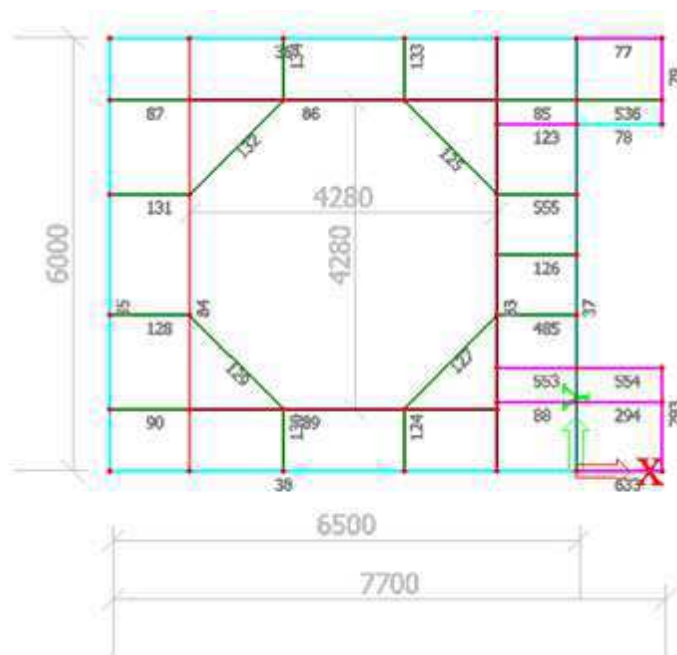
Rozměry a uspořádání konstrukce vychází z podkladů společnosti Institut ocelových konstrukcí, spol. s r. o.

Legenda průřezů:

	HEB 300
	HEA 280
	HEA 140
	HEA 200
	IPE 360
	IPE 200
	IPE 300
	IPE 240
	HEA 200
	IPE 120
	UNP 200
	L 60x5

2.1.1 Půdorysy

Plošina + 15,000 m:



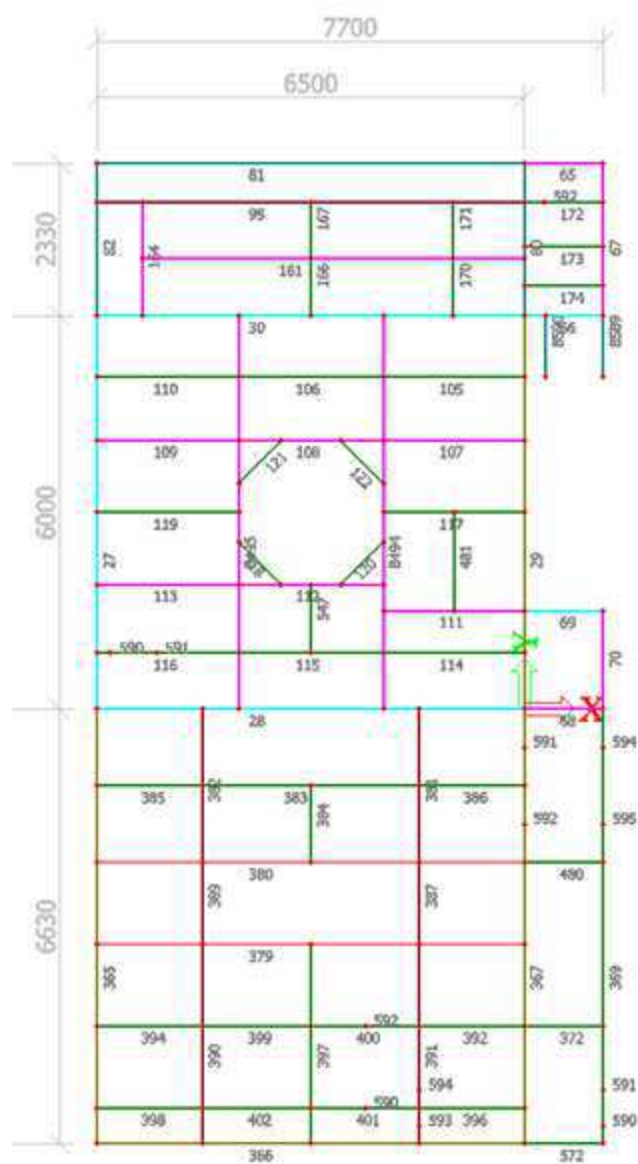
Obr. 2 - Schéma plošiny +15,000 m

Plošina + 12,000 m:



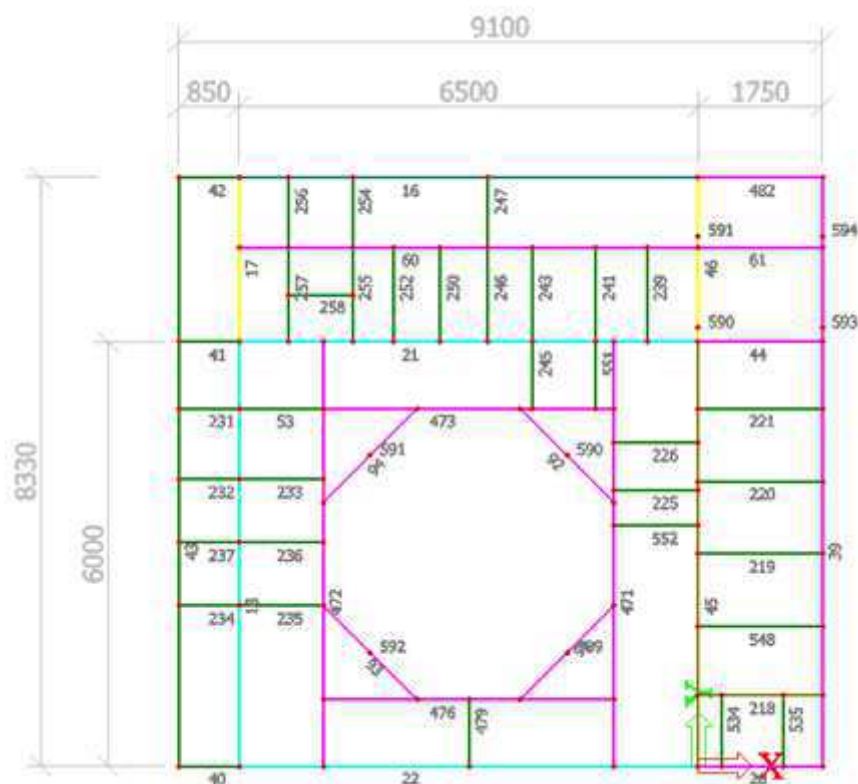
Obr. 3 - Schéma plošiny +12,000 m

Plošina + 8,600 m:



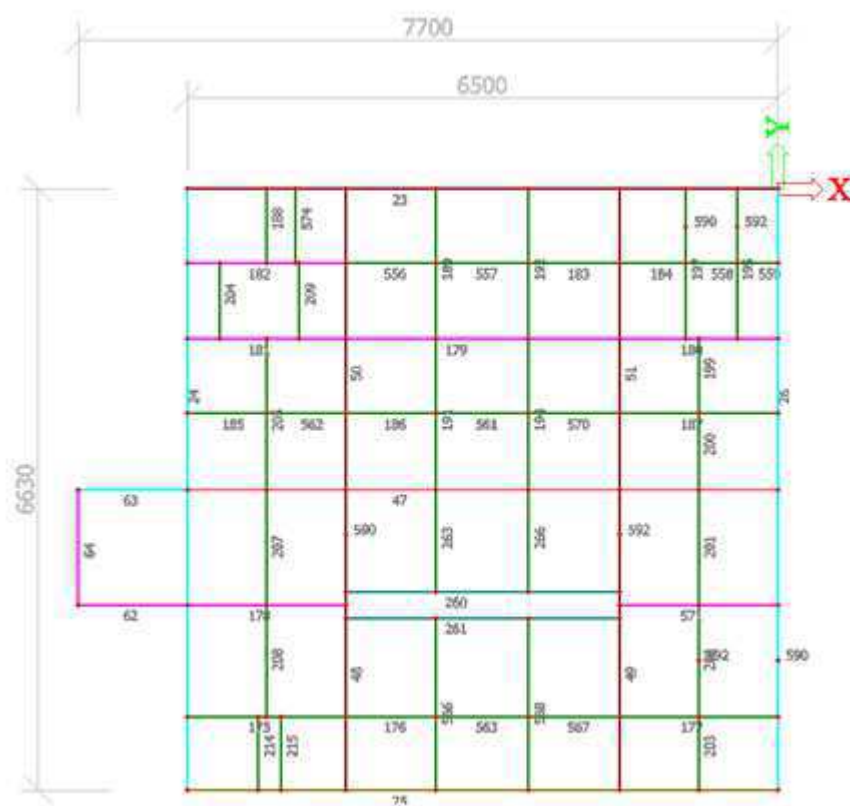
Obr. 4 - Schéma plošiny +8,600 m

Plošina + 4,600 m:



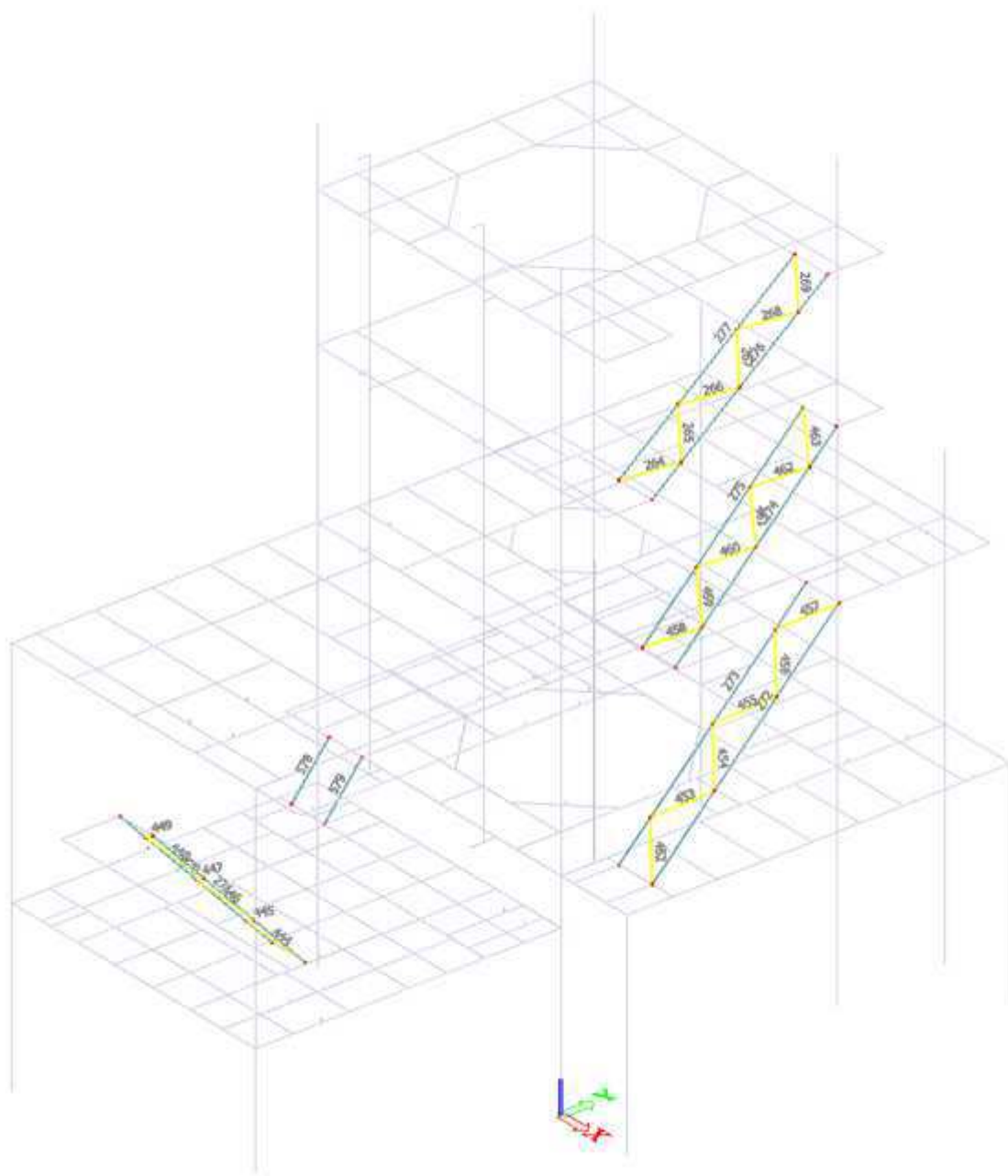
Obr. 5 - Schéma plošiny +4,600 m

Plošina + 3,600 m:



Obr. 6 - Schéma plošiny +3,600 m

2.1.3 Schodiště



Obr. 8 - Schéma schodišť

2.2 Zatížení

Hodnoty zatížení jsou převzaty z podkladů společnosti Institut ocelových konstrukcí, spol. s.r.o.

2.2.1 Zatěžovací stavy

Popis	Typ působení	Typ zatížení	Skupina zatížení
Vlastní tíha	Stálé, -Z	Vlastní tíha	SZ1
Podlahy, rošty	Stálé	Standart	SZ1
Technologie	Proměnné	Statické	SZ2
Užitné - plošina 1	Proměnné	Statické	SZ3
Užitné - plošina 2	Proměnné	Statické	SZ3
Užitné - plošina 3	Proměnné	Statické	SZ3
Užitné - plošina 4	Proměnné	Statické	SZ3
Užitné - plošina 5	Proměnné	Statické	SZ3
Užitné - plošina 6	Proměnné	Statické	SZ3
Užitné – schodiště 1	Proměnné	Statické	SZ4
Užitné – schodiště 2	Proměnné	Statické	SZ4
Užitné – schodiště 3	Proměnné	Statické	SZ4
Užitné – schodiště 4	Proměnné	Statické	SZ4
Užitné – schodiště 5	Proměnné	Statické	SZ4
Imperfekce Y+	Proměnné	Statické	SZ5
Imperfekce Y-	Proměnné	Statické	SZ5
Imperfekce X+	Proměnné	Statické	SZ5
Imperfekce X-	Proměnné	Statické	SZ5
Imperfekce Y+Y-	Proměnné	Statické	SZ5
Imperfekce Y-Y+	Proměnné	Statické	SZ5
5% HZ Y+	Proměnné	Statické	SZ6
5% HZ Y-	Proměnné	Statické	SZ6
5% HZ X+	Proměnné	Statické	SZ6
5% HZ X-	Proměnné	Statické	SZ6
10% HZ Y+	Proměnné	Statické	SZ7
10% HZ Y-	Proměnné	Statické	SZ7

10% HZ X+	Proměnné	Statické	SZ7
10% HZ X-	Proměnné	Statické	SZ7

2.2.2 Skupiny zatížení

Popis	Zatížení	Vztah	Typ zatížení
SZ1	Stálé		
SZ2	Proměnné	Výběrová	Kat E : sklady
SZ3	Proměnné	Standart	Kat E : sklady
SZ4	Proměnné	Standart	Kat E : sklady
SZ5	Proměnné	Výběrová	Kat E : sklady
SZ6	Proměnné	Výběrová	Kat E : sklady
SZ7	Proměnné	Výběrová	Kat E : sklady

2.2.3 Kombinace zatížení

1. MSÚ – EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B

Obsahuje všechny zatěžovací stavy ze skupin zatížení SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 a SZ5.

2. MSP – EN-MSP charakteristická

Obsahuje všechny zatěžovací stavy ze skupin zatížení SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 a SZ5.

3. MSP – 5% - EN-MSP charakteristická

Obsahuje všechny zatěžovací stavy ze skupin zatížení SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 a navíc SZ6. Tato kombinace slouží pro posouzení na požadavek zadavatele.

4. MSP – 10% - EN-MSP charakteristická

Obsahuje všechny zatěžovací stavy ze skupin zatížení SZ1, SZ2, SZ3, SZ4 a navíc SZ7. Tato kombinace slouží pro posouzení na požadavek zadavatele.

5. Pomocná kombinace pro zjištění imperfekcí – EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B

Obsahuje všechny zatěžovací stavy ze skupin zatížení SZ1, SZ2, SZ3, SZ4. Z výsledků této kombinace jsme schopni určit hodnoty imperfekcí, které představují 5% hodnoty normálové síly ve sloupech. Tyto imperfekce potřebujeme na 1. kombinaci zatížení MSÚ

6. Pomocná kombinace pro zjištění vodorovného zatížení – EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B

Obsahuje všechny zatěžovací stavy ze skupin zatížení SZ1, SZ2. Z výsledků této kombinace jsme schopni určit hodnoty vodorovných sil, které představují 5% hodnoty normálové síly ve sloupech. Tyto síly potřebujeme na 3. kombinaci MSP na požadavek zadavatele.

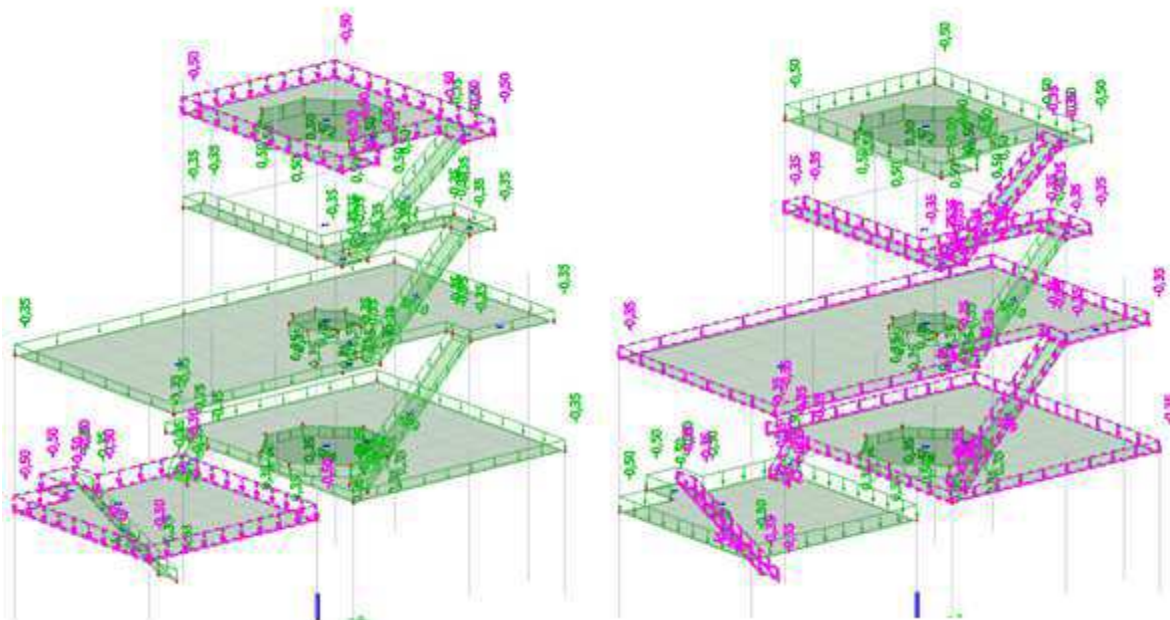
2.2.3.1 Vlastní tíha

Automaticky generováno softwarem SCIA Engineer.

2.2.3.2 Podlahy, rošty

Podlahy: $g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$

Rošty: $g_k = 0,35 \text{ kN/m}^2$



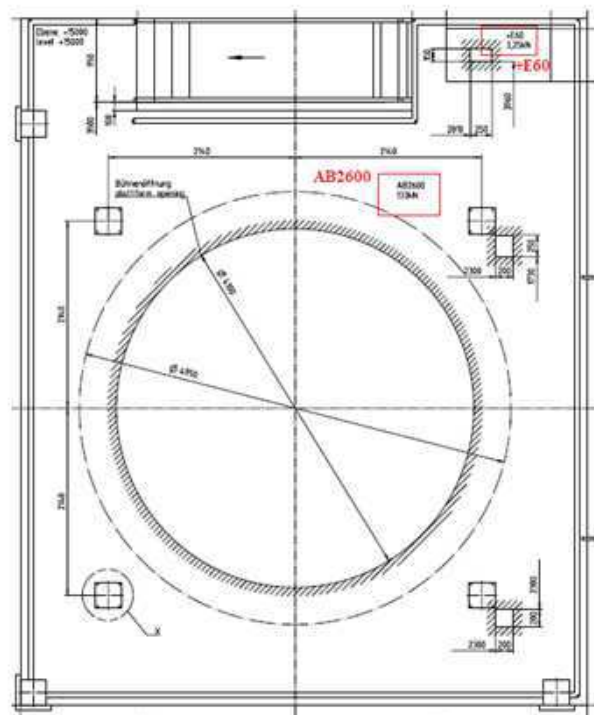
Obr. 9 - Stálé zatížení (vlevo - zatížení od podlah, vpravo - zatížení od roštů)

2.2.3.3 Technologie

Hodnoty zatížení jsou zadány dodavatelem prostřednictvím dokumentu, ve kterém jsou uvedeny hmotnosti jednotlivých břemen.

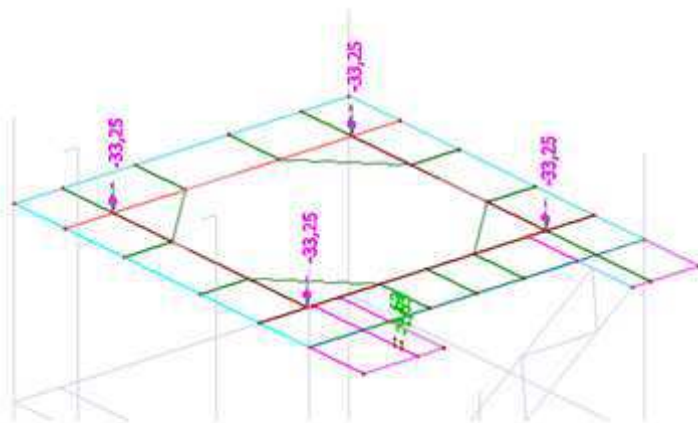
Plošina + 15,000 m

Rozmístění a označení jednotlivých zařízení je znázorněno na následující schématu.



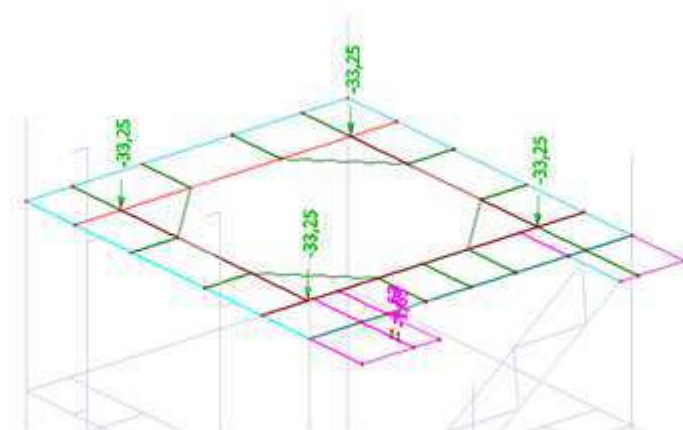
Obr. 10 - Rozmístění technologie na plošině +15,000 m [5]

AB2600 – 133 kN



Obr. 11 - Zatížení od AB2600 na plošině +15,000 m

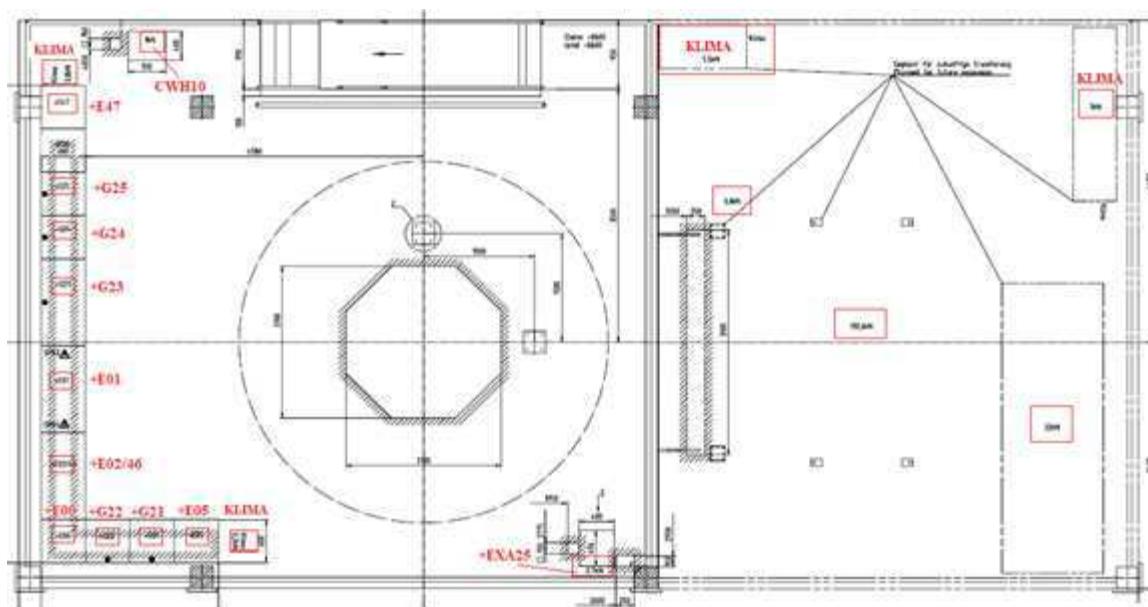
+E60 – 3,25 kN



Obr. 12 - Zatížení od +E60 na plošině +15,000 m

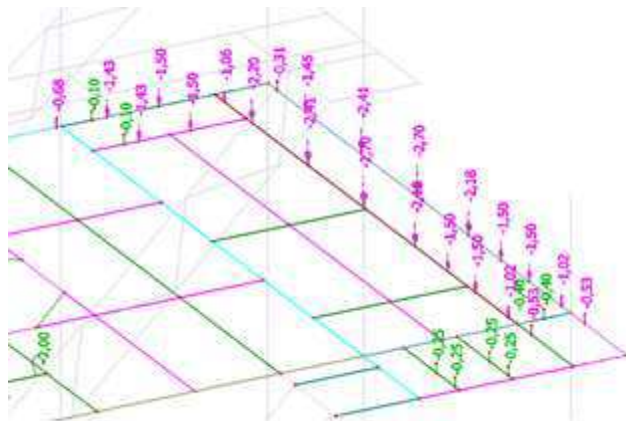
Plošina + 8,600 m

Rozmístění a označení jednotlivých zařízení je znázorněno na následujícím schématu. Pokud není uveden název zařízení, jedná se o budoucí plánované umístění a dále je uvedeno jako nezařazené zatížení.



Obr. 13 - Rozmístění technologie na plošině +8,600 m [5]

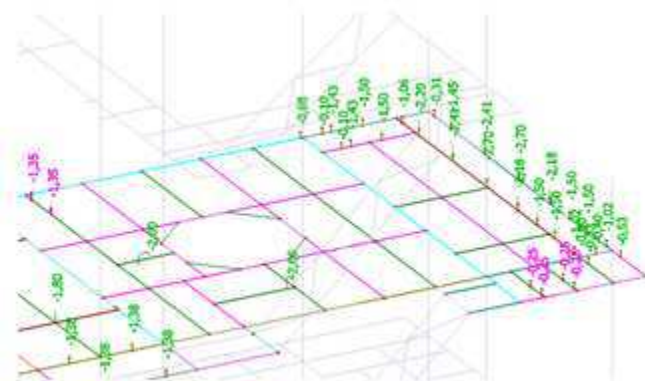
+E05, +G21, +G22, +E00,
+E02/46, +E01, +G23, +G24, +G25,
+E47



Obr. 14 - Zatížení od více strojů technologie na plošině +8,600 m

+EXA25 – 2,7 kN

CWH10 – 1 kN

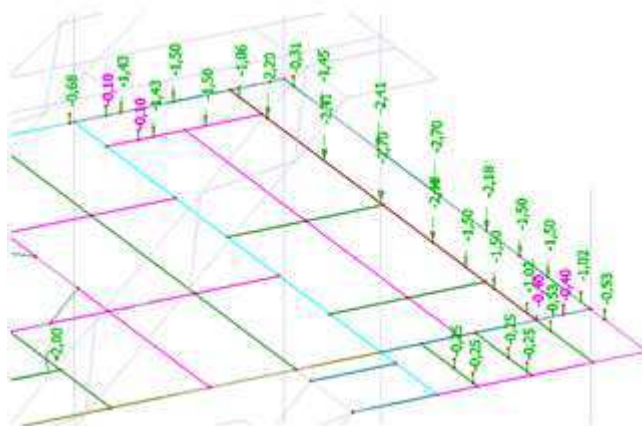


Obr. 15 - Zatížení od +EXA25 a CWH10 na plošině +8,600 m

Klimatizace:

$$q_{klm1,k} = 0,2 \text{ kN}$$

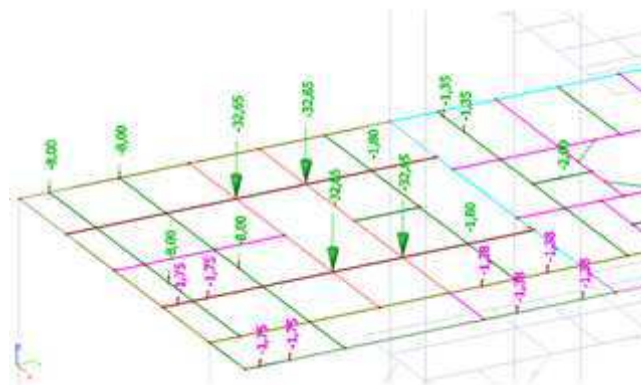
$$q_{klm2,k} = 0,8 \text{ kN}$$



Obr. 16 - Zatížení od klimatizace na plošině +8,600 m - 1

$$q_{klim3,k} = 5,5 \text{ kN}$$

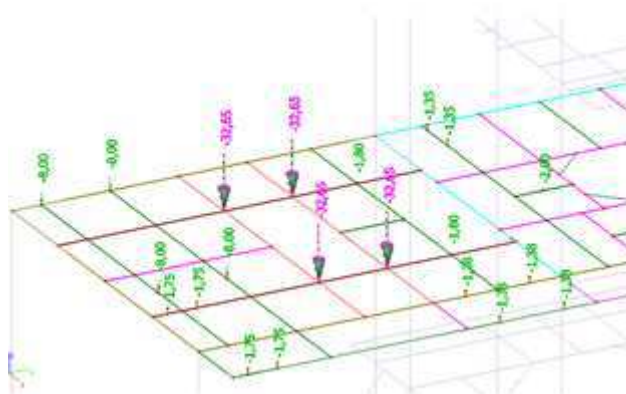
$$q_{klim4,k} = 7 \text{ kN}$$



Obr. 17 - Zatížení od klimatizace na plošině +8,600 m - 2

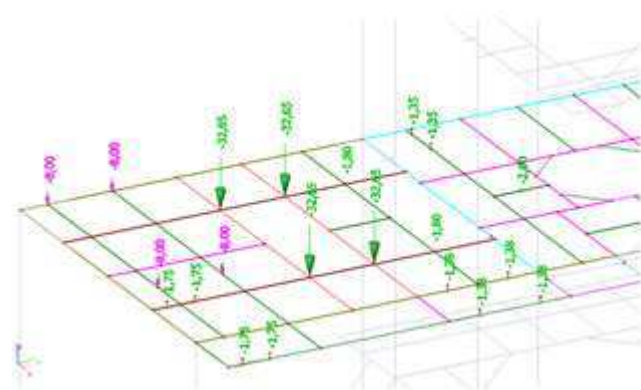
další nezařazená zatížení:

$$q_{nez1,k} = 130,6 \text{ kN}$$



Obr. 18 - Nezařazené zatížení na plošině +8,600 m - 1

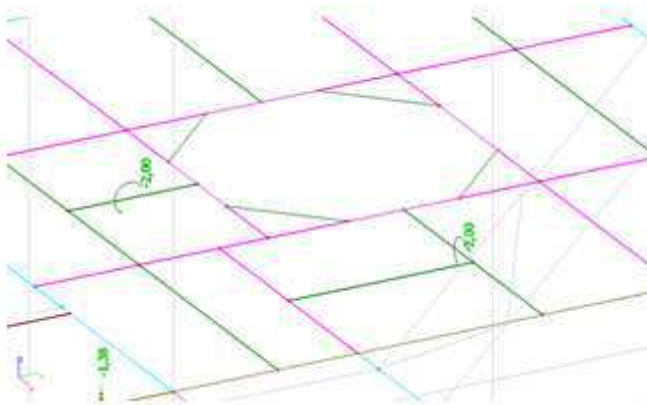
$$q_{nez2,k} = 32 \text{ kN}$$



Obr. 19 - Nezařazené zatížení na plošině +8,600 m - 2

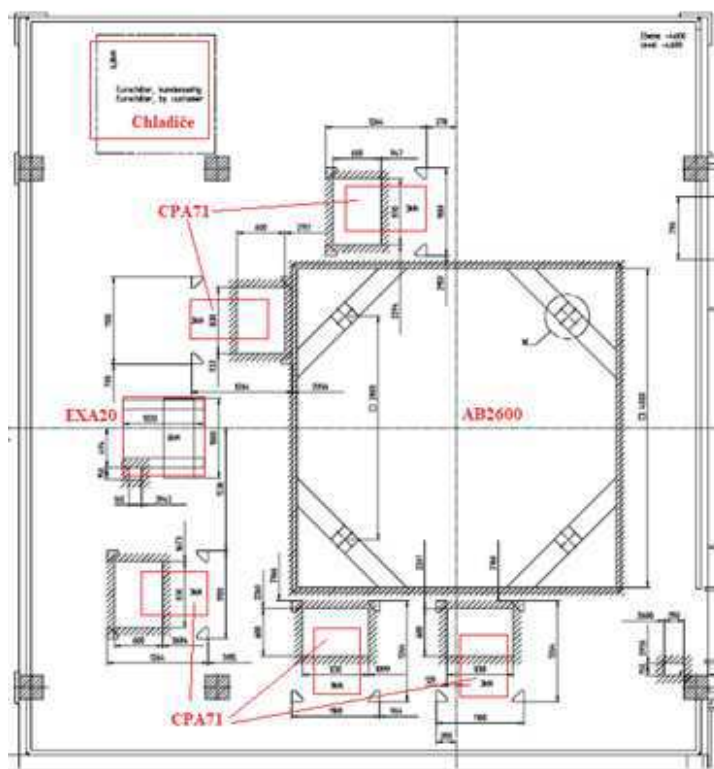
[illegible]

Momenty: $q_{m,k} = 2 \text{ kNm}$



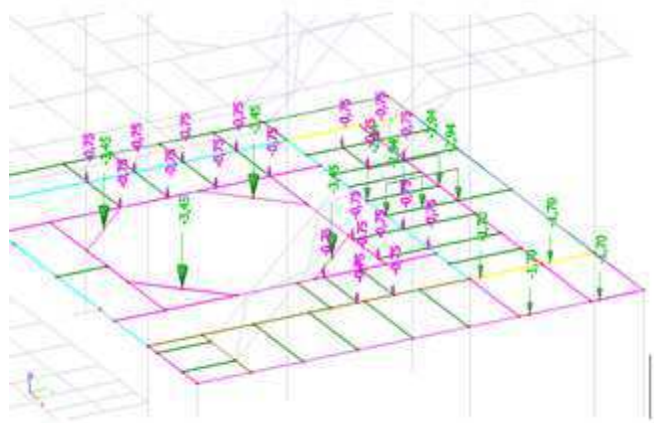
Plošina + 4,600 m

Rozmístění a označení jednotlivých zařízení je znázorněno na následujícím schématu.



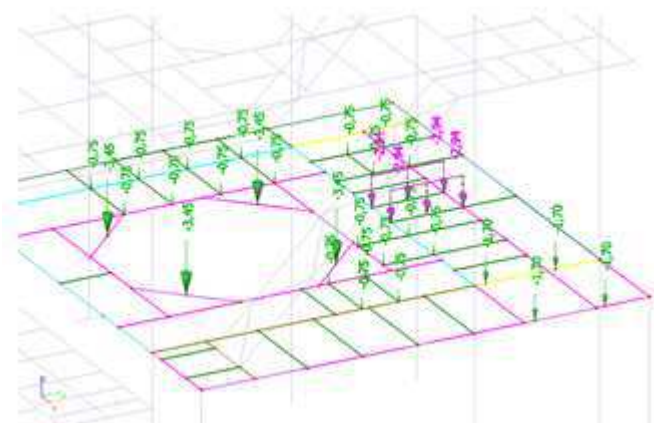
Obr. 22 - Rozmístění technologie na plošině +4,600 m [5]

CPA71 – 3 kN



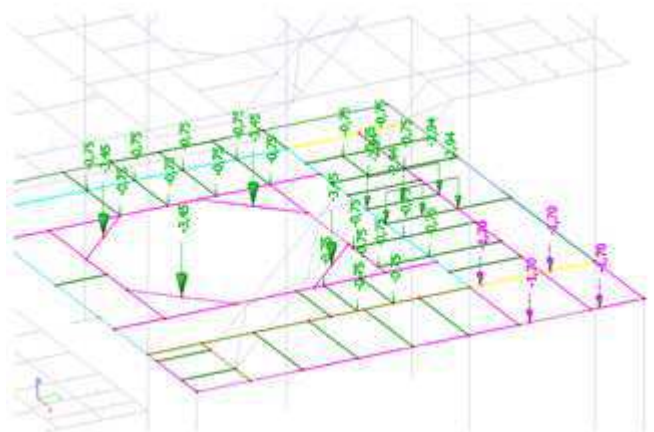
Obr. 23 - Zatížení od CPA71 na plošině +4,600 m

EXA20 – 6 kN – L = 1020 m



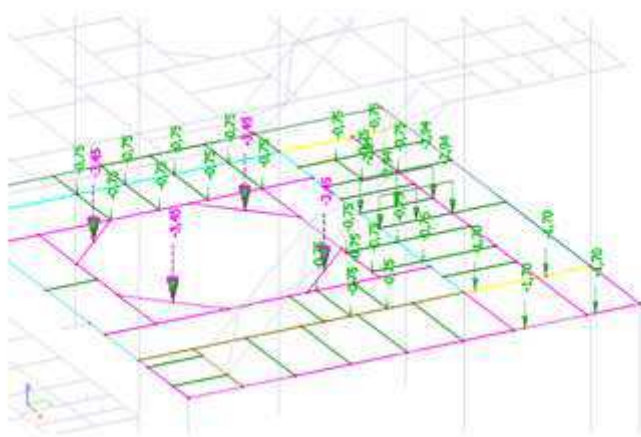
Obr. 24 - Zatížení od EXA20 na plošině +4,600 m

Chladiče – 6,8 kN



Obr. 25 - Zatížení od chladičů na plošině +4,600 m

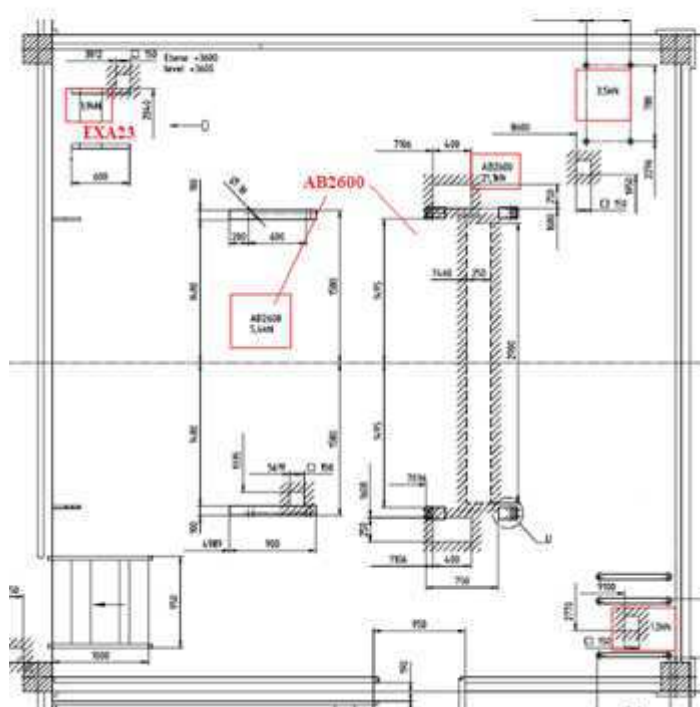
AB2600 – 13,8 kN



Obr. 26 - Zatížení od AB2600 na plošině +4,600 m

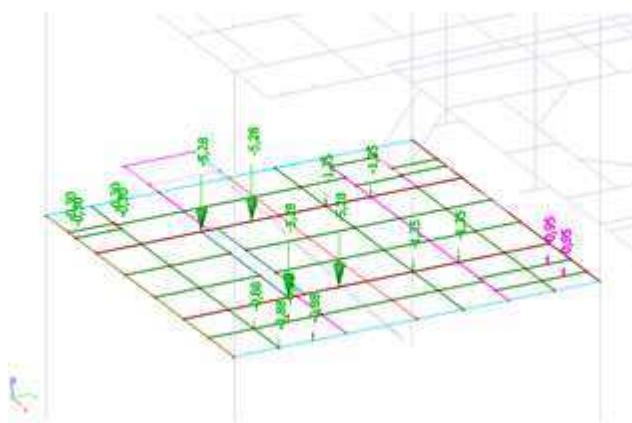
Plošina + 3,600 m

Rozmístění a označení jednotlivých zařízení je znázorněno na následujícím schématu. Pokud není uveden název zařízení, jedná se o budoucí plánované umístění a dále je uvedeno jako nezařazené zatížení.



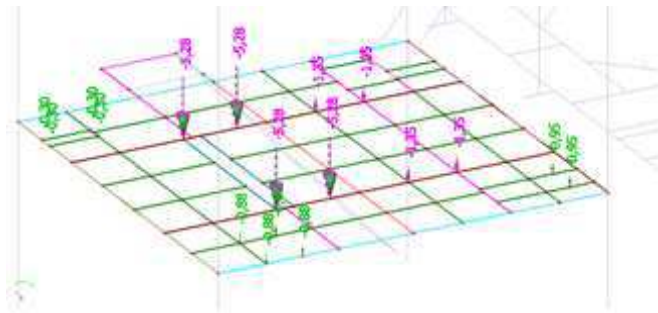
Obr. 27 - Rozmístění technologie na plošině +3,600 m [5]

EXA23 – 1,9 kN



Obr. 28 - Zatížení od EXA23 na plošině +4,600 m

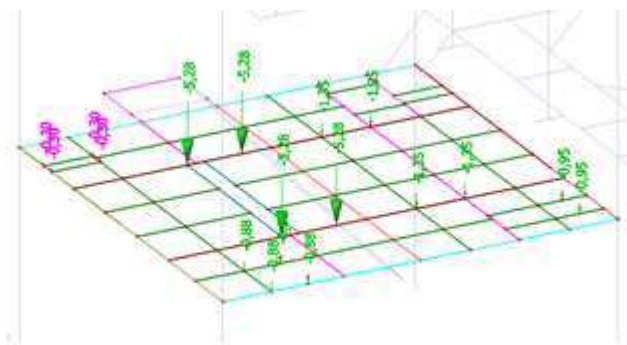
AB2600 – 5,4 kN / 21,1 kN



Obr. 29 - Zatížení od AB2600 na plošině +4,600 m

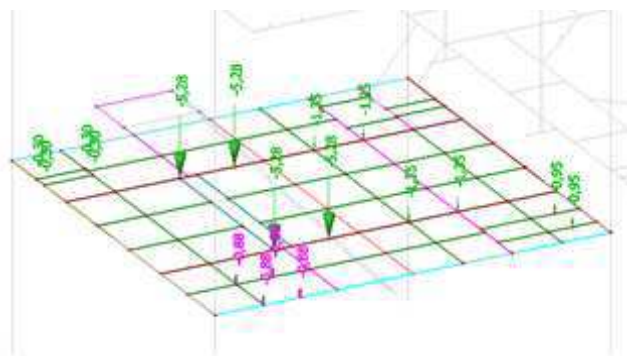
další nezařazená zatížení:

$$q_{nez1,k} = 1,2 \text{ kN}$$



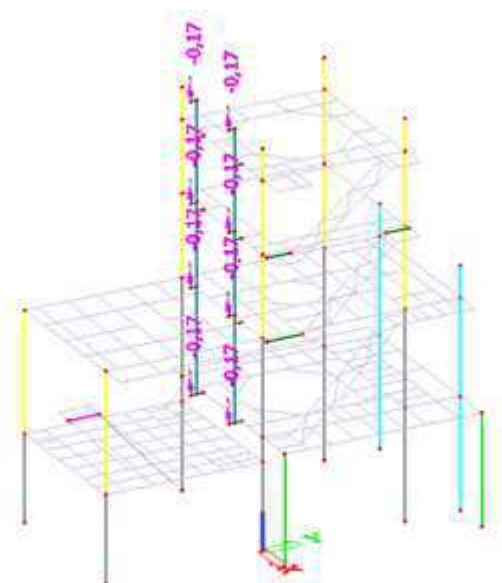
Obr. 30 - Nezařazená zatížení na plošině +4,600 m - 1

$$q_{nez2,k} = 3,5 \text{ kN}$$



Obr. 31 - - Nezařazené zatížení na plošině +4,600 m - 2

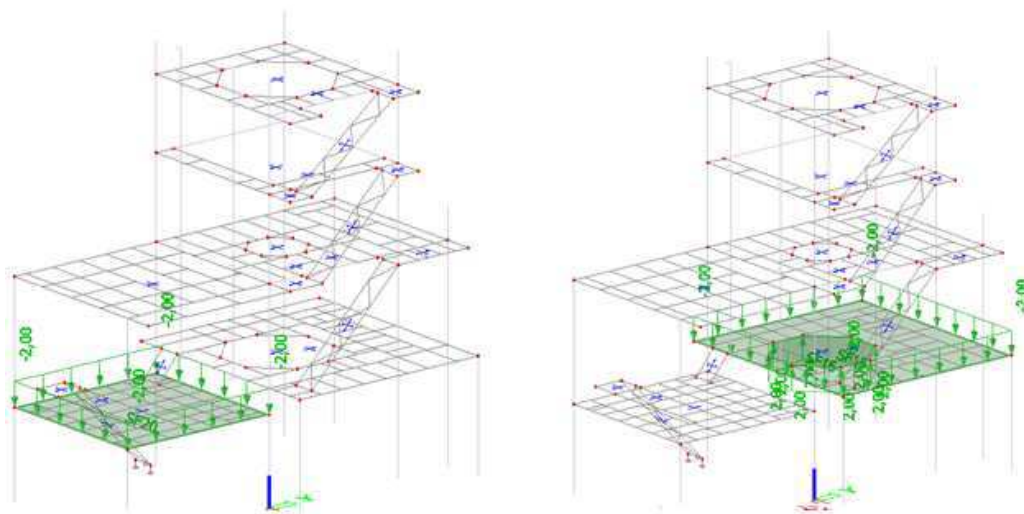
Vertikální zatížení:



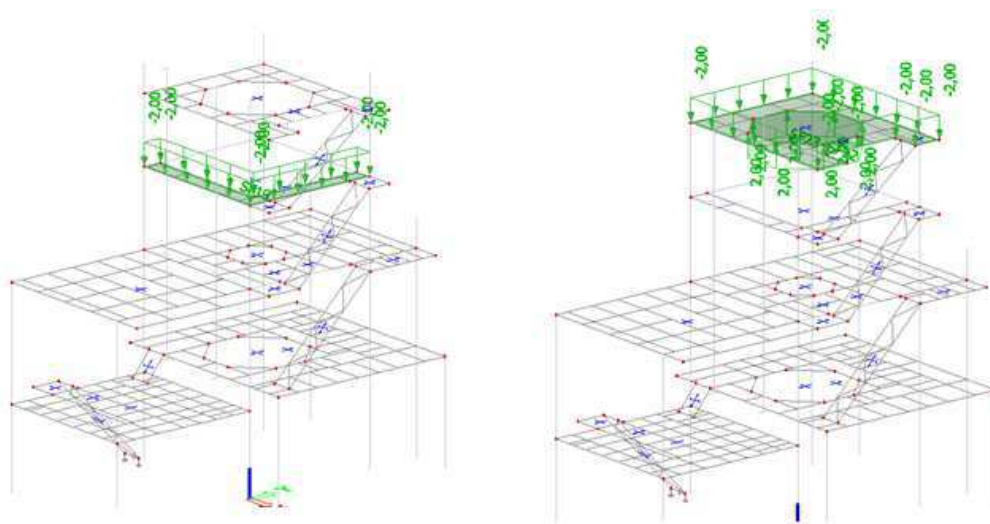
Obr. 32 - Vertikální zatížení od technologie

2.2.3.4 Užitná zatížení

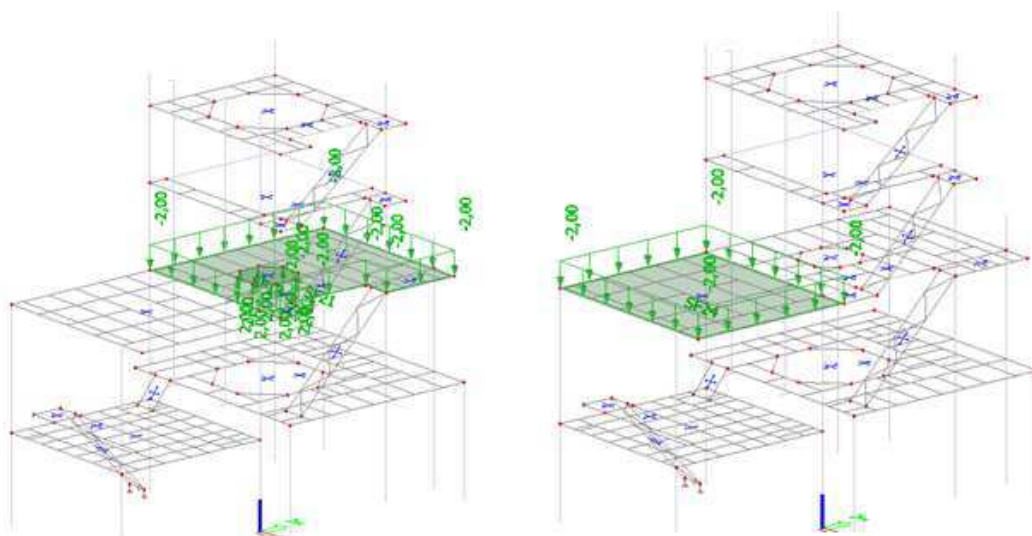
Plošiny: $q_k = 2 \text{ kN/m}^2$



Obr. 33 - Užitné zatížení (vlevo - plošina +3,600 m; vpravo - plošina +4,600 m)

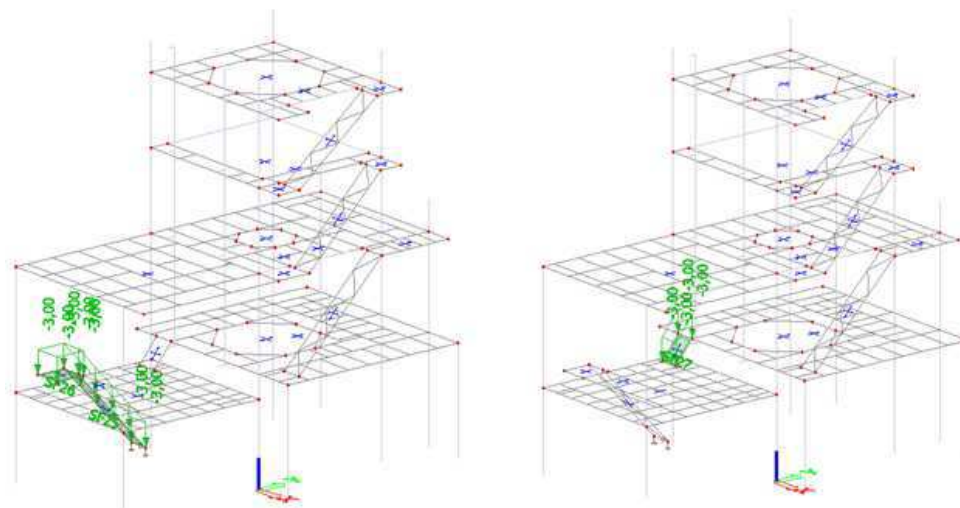


Obr. 34 - Užitné zatížení (vlevo - plošina +12,000 m; vpravo - plošina +15,000 m)

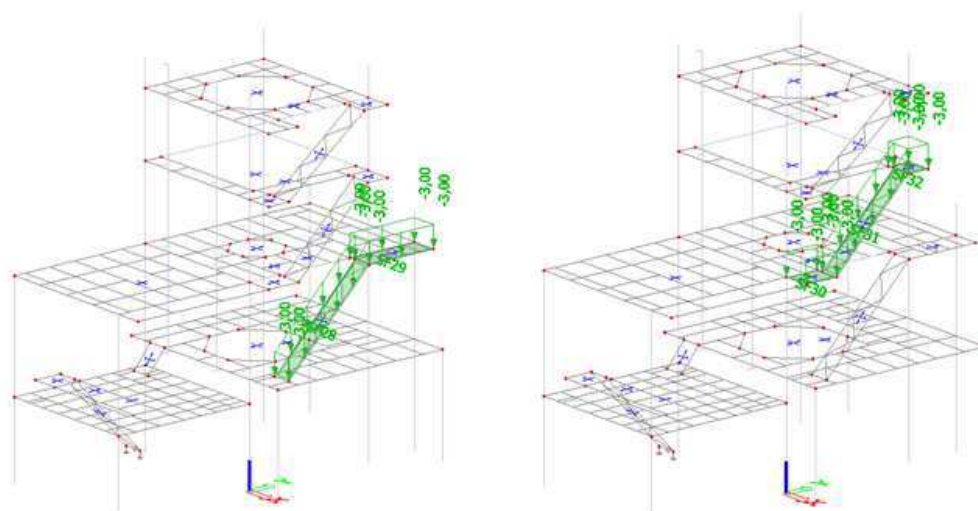


Obr. 35 - Užitné zatížení na plošině +8,600 m

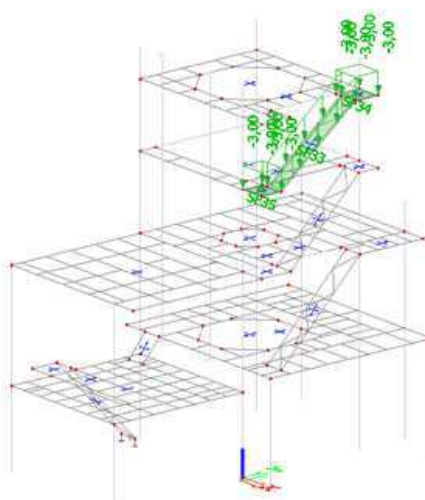
Schodiště: $q_k = 3 \text{ kN/m}^2$



Obr. 36 - Užité zátížení na schodišti (vlevo - schodiště z 0,000 do +3,600 m; vpravo – schodiště z +3,600 do +4,600 m)



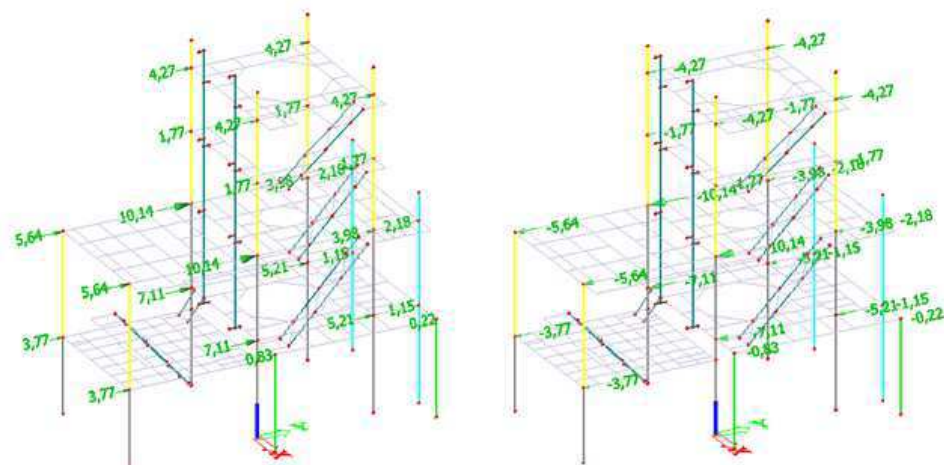
Obr. 37 - Užité zátížení na schodišti (vlevo – schodiště z 4,600 do +8,600 m; vpravo – schodiště z +8,600 do +12,000 m)



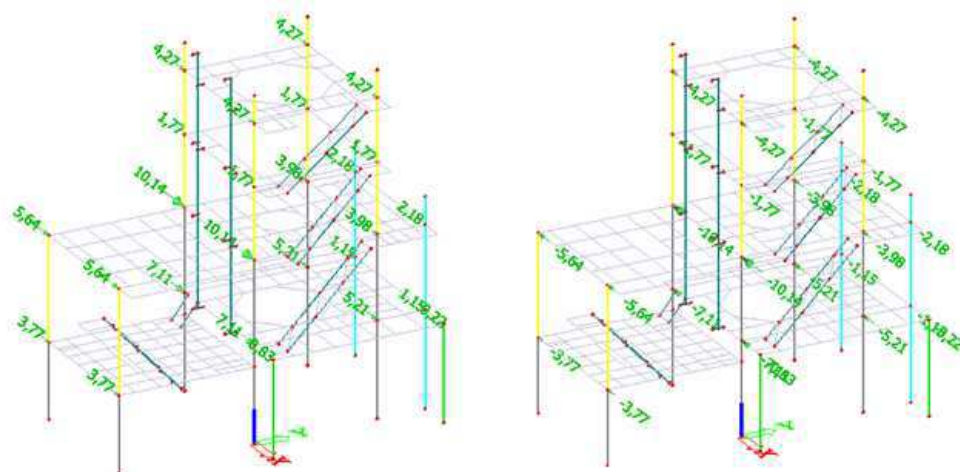
Obr. 38 - Užité zátížení na schodišti z +12,000 do +15,000 m

2.2.3.5 Imperfekce

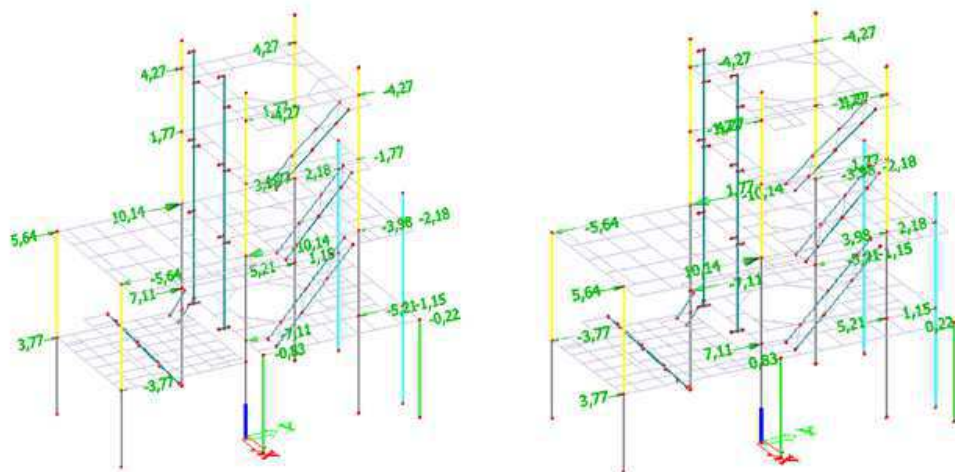
Jelikož se konstrukce nachází uvnitř haly, nepůsobí na konstrukci žádná vodorovná zatížení. Na požadavek zadavatele jsou do výpočtu zahrnuty imperfekce, které odpovídají 5 % hodnoty normálové síly ve sloupech, vyvolané od veškerého stálého a užitého zatížení včetně technologie. K posouzení únosnosti je uvaženo šest variant působení imperfekcí.



Obr. 39 - Imperfekce ve směru osy Y (vlevo - Y +; vpravo - Y -)



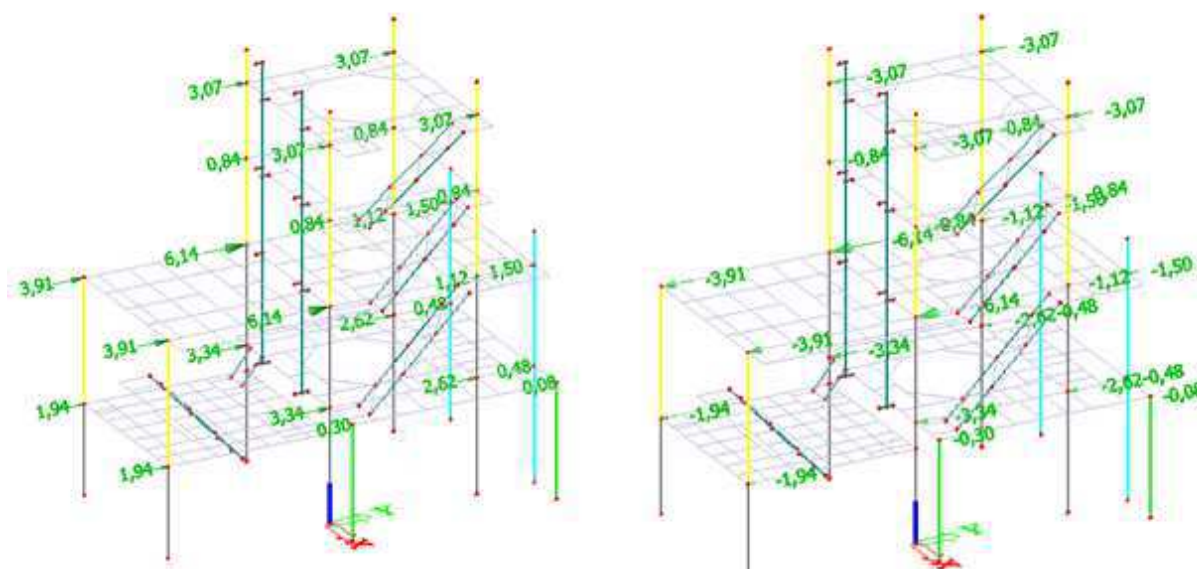
Obr. 40 - Imperfekce ve směru osy X (vlevo - X +; vpravo - X -)



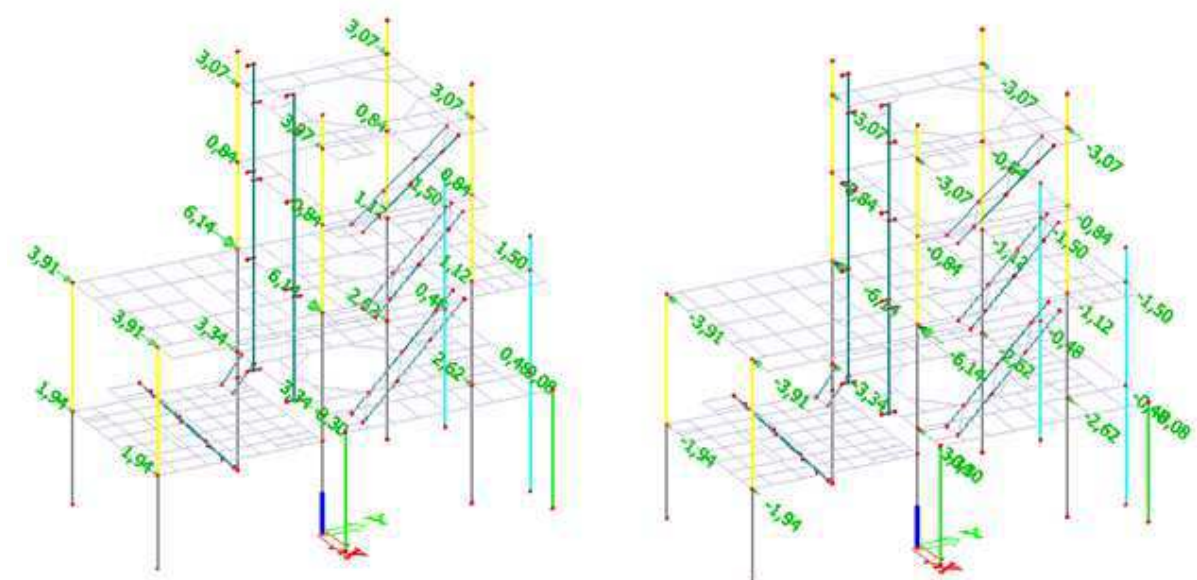
Obr. 41 - Imperfekce ve směru osy Y (vlevo - Y + Y -; vpravo - Y - Y +)

2.2.3.6 5% - Horizontální zatížení

Na požadavek zadavatele se musí pro posouzení deformace v nejvyšším místě zahrnout do výpočtu vodorovné síly, představující 5 % hodnoty normálové síly ve sloupech od zatížení konstrukce vlastní tíhou, podlahami, rošty a technikou. K posouzení použitelnosti je uvaženo čtyř variant působení sil. Maximální deformace je limitována hodnotou 1/600 výšky konstrukce, což odpovídá 25 mm.



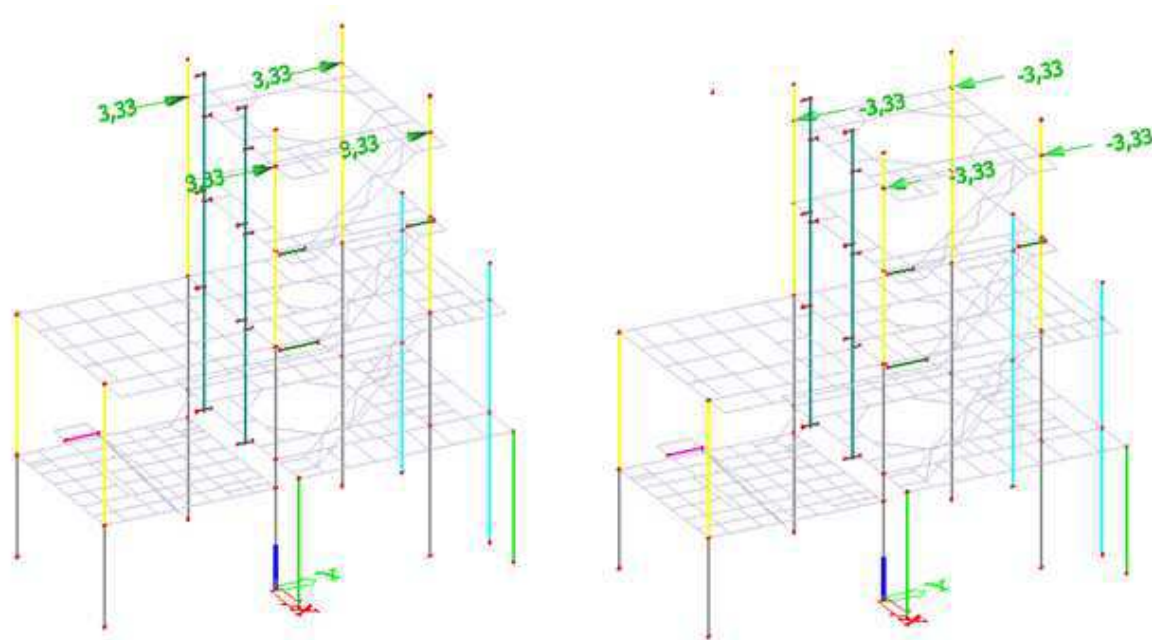
Obr. 42 - 5% horizontální zatížení ve směru osy Y (vlevo - Y +; vpravo - Y -)



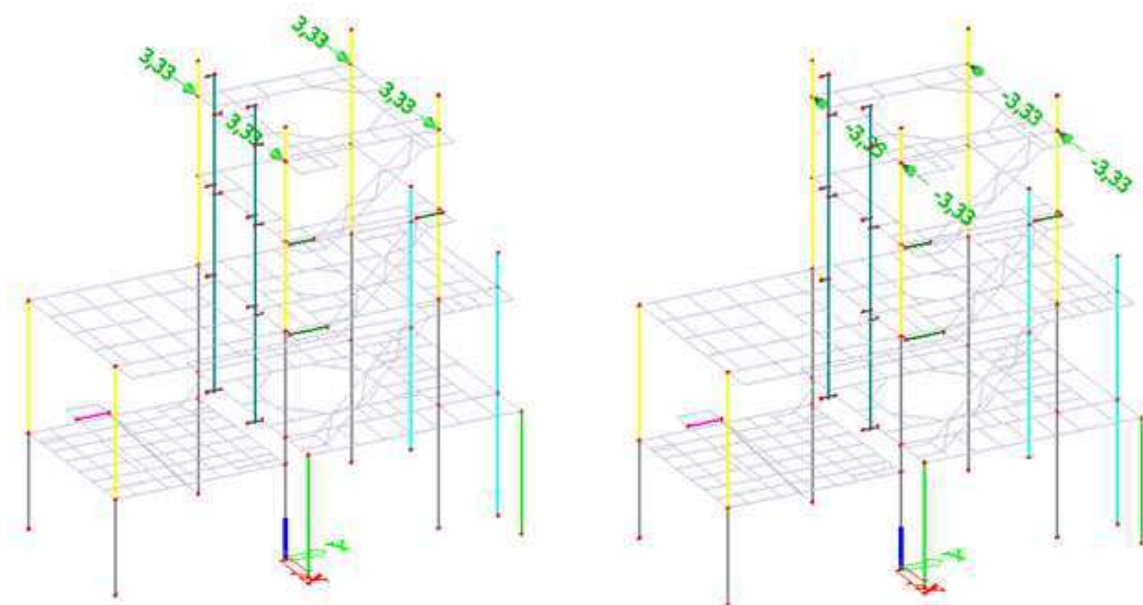
Obr. 43 - 5% horizontální zatížení ve směru osy X (vlevo - X +; vpravo - X -)

2.2.3.7 10% - Horizontální zatížení

Na požadavek zadavatele se musí pro posouzení deformace horní plošiny zahrnout do výpočtu vodorovné síly, představující 10 % hodnoty zatížení od techniky na horní plošině. K posouzení použitelnosti je uvaženo čtyř variant působení sil. Maximální deformace v horní úrovni je limitována hodnotou 12 mm.



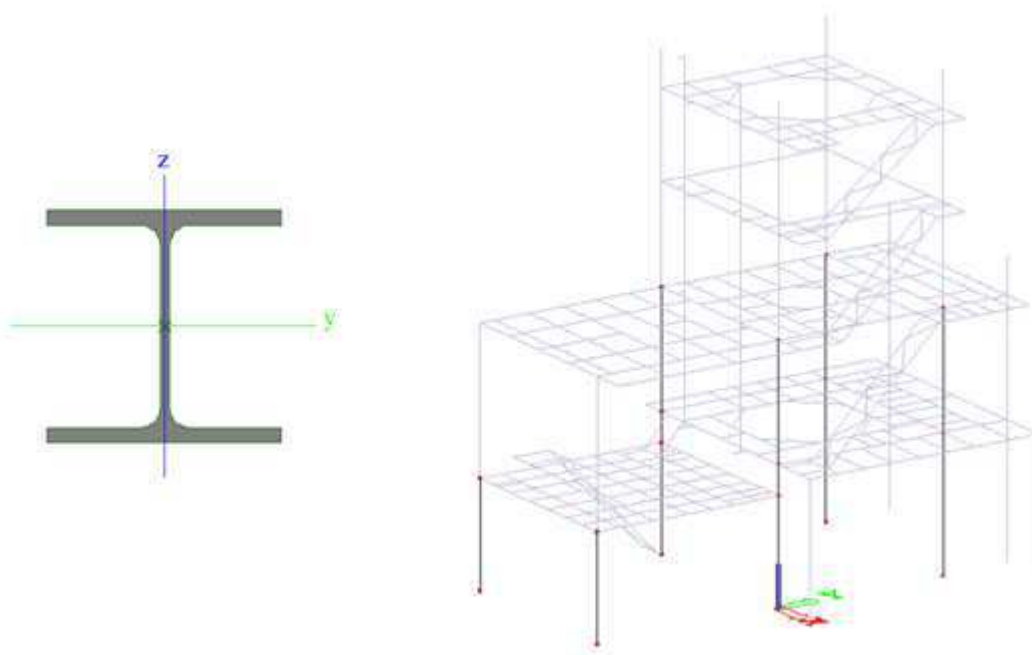
Obr. 44 - 10% horizontální zatížení ve směru osy Y (vlevo - Y +; vpravo - Y -)



Obr. 45 - 10% horizontální zatížení ve směru osy X (vlevo - X +; vpravo - X -)

2.3 Posudek vybraných nosných prvků konstrukce

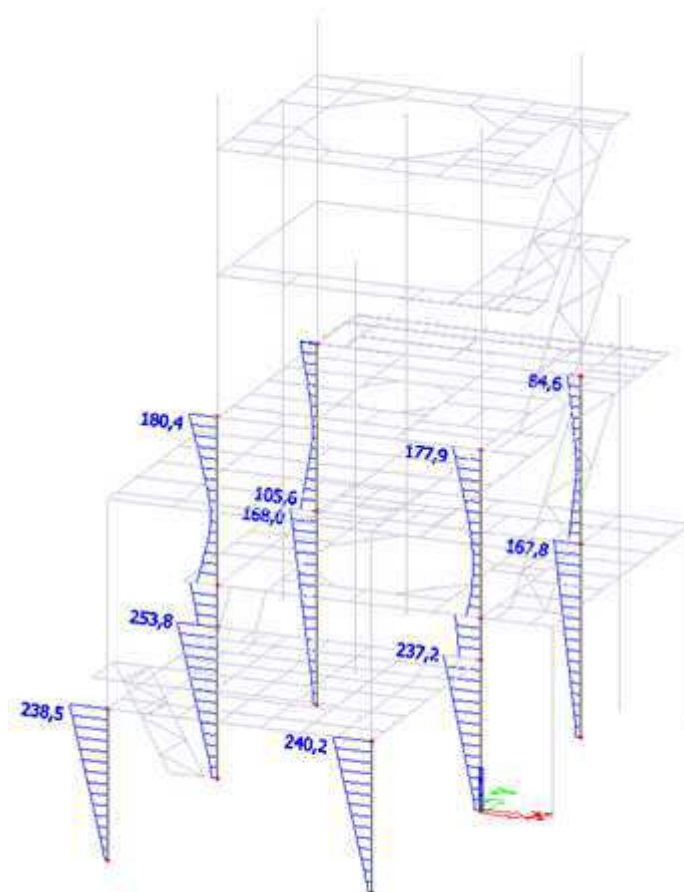
2.3.1 Sloup HEB 300



Obr. 46 - Sloup HEB 300 (vlevo – průřez HEB 300; vpravo – vyznačené prvky průřezu HEB 300)

Tabulka 1 - Popis a průřezové charakteristiky průřezu HEB 300

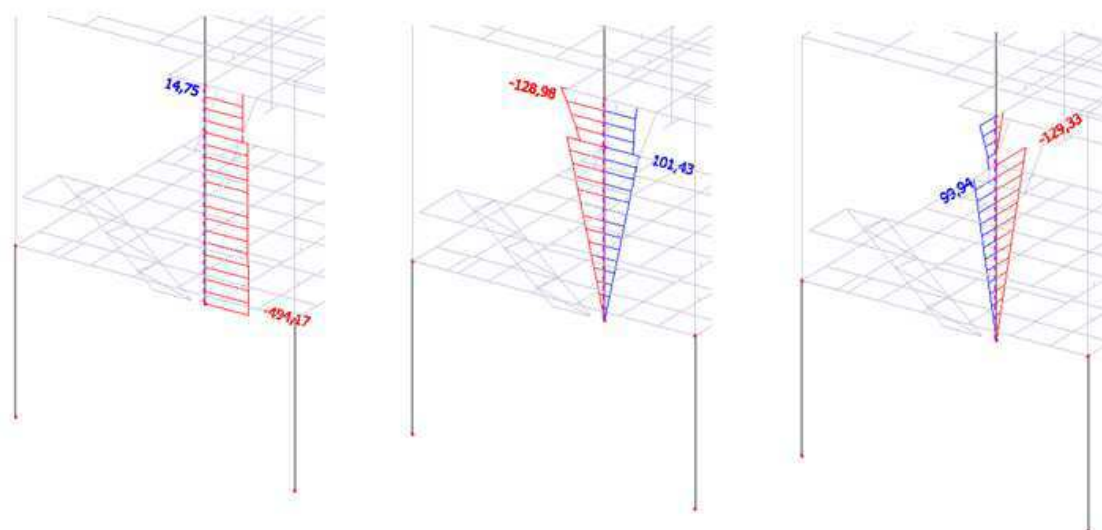
Jméno	CS1	
Typ	HEB 300	
Zdroj hodnot	Profil Arbed / Structural shapes / Edition Octobre 1995	
Materiál	S 235	
Výroba	válcovaný	
Posudek rovinného vzpěru y-y	b	
Posudek rovinného vzpěru z-z	c	
A [m ²]	1,4910e-02	
A _{y, z} [m ²]	1,0963e-02	3,5436e-03
I _{y, z} [m ⁴]	2,5170e-04	8,5630e-05
I _w [m ⁶], I _t [m ⁴]	1,6878e-06	1,8500e-06
W _{el y, z} [m ³]	1,6780e-03	5,7090e-04
W _{pl y, z} [m ³]	1,8690e-03	8,7010e-04
d _{y, z} [mm]	0	0
c _{YUSS, ZUSS} [mm]	150	150
α [deg]	0,00	
A _{L, D} [m ² /m]	1,7300e+00	1,7314e+00
M _{ply +, -} [Nm]	4,39e+05	4,39e+05
M _{plz +, -} [Nm]	2,05e+05	2,05e+05



Obr. 47 - Průběh Misesova napětí na prvcích průřezu HEB 300

Z průběhu Misesova napětí můžeme předpokládat, že nejvíce namáhaný je prvek 616. Některé hodnoty překračují mez kluzu 235 MPa, protože jsou napětí vykresleny konzervativně pomocí elastických průřezových charakteristik. Jelikož se ale jedná o průřez třídy 1, můžeme využít plastický návrh a hodnoty napětí budou mnohem nižší. Tento obrázek je tudíž jen ilustrativní a slouží jen pro přehled a porovnání napětí na jednotlivých prvcích.

Obálky vnitřních sil:



Obr. 48 - Obálky vnitřních sil (vlevo - N; uprostřed - My; vpravo Mz)

Prut bude posouzen na nejnepříznivější kombinaci s maximálním ohybovým momentem M_z , vznikající v pozici 3,600 m, což je ve styku s první plošinou. Kombinace obsahuje tyto zatěžovací stavy:

Vlastní tíha*1,35 + Podlahy,rošty*1,35 + Užité1*1,5 + Užité3*1,5 + Užité4*1,5 + Užité5*1,5 + Užité-schodiště1*1,5 + Užité-schodiště2*1,5 + Užité-schodiště3*1,5 + Užité-schodiště4*1,5 + ImperfekceY*1,5

Hodnoty vnitřních sil:

$$N_{Ed} = -194,21 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -8,36 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -129,33 \text{ kNm}$$

Průřez: HEB 300, ocel S235

průřez 1. třídy pro návrh průřezu / 1. třídy pro návrh dílce na vzpěr

Únosnost v tlaku:

$$N_{c,Rd} = f_y \cdot A = 235 \cdot 14,9 \cdot 10^3 = 3501,5 \text{ kN} \quad (2.1)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{194,21}{3501,5} = 0,06 < 1,0 \quad (2.2)$$

Ohybová únosnost:

$$M_{y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = f_y \cdot W_{pl,y} = 235 \cdot 1,87 \cdot 10^6 = 439,45 \text{ kNm} \quad (2.3)$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{8,36}{439,45} = 0,02 < 1,0 \quad (2.4)$$

$$M_{z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = f_y \cdot W_{pl,z} = 235 \cdot 8,70 \cdot 10^5 = 203,51 \text{ kNm} \quad (2.5)$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{129,33}{204,47} = 0,63 < 1,0 \quad (2.6)$$

Při stanovení plastické únosnosti v ohybu se má uvažovat účinek smyku a osově síly.

Pokud je návrhová hodnota smykové síly V_{Ed} menší než polovina návrhové plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost při působení ohybu a osově síly zanedbat.

$$V_{pl,y,Rd} = A_{v,y} \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 1,182 \cdot 10^4 \cdot 235 / \sqrt{3} = 1603,43 \text{ kN} \quad (2.7)$$

$$V_{y,Ed} = 54,48 \text{ kN} < 0,5 V_{pl,y,Rd} = 801,7 \text{ kN} \quad (2.8)$$

$$V_{pl,z,Rd} = A_{v,z} \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 4,745 \cdot 10^3 \cdot 235 / \sqrt{3} = 643,79 \text{ kN} \quad (2.9)$$

$$V_{z,Ed} = 65,55 \text{ kN} < 0,5 V_{pl,z,Rd} = 231,9 \text{ kN} \quad (2.10)$$

Obě podmínky jsou splněny, působení smykové síly na ohybový moment můžeme tedy zanedbat.

Pro dvojose symetrické průřezy I a H není nutné uvažovat účinek osově síly na plastický moment únosnosti v ohybu okolo osy y-y, pokud jsou splněny obě následující podmínky:

$$N_{Ed} = 194,21 \text{ kN} \leq 0,25N_{pl,Rd} = 875,38 \text{ kN} \quad (2.11)$$

$$N_{Ed} = 194,21 \text{ kN} \leq \frac{0,5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 208 \cdot 11 \cdot 235}{1,0} = 268,8 \text{ kN} \quad (2.12)$$

Obě podmínky jsou splněny, únosnost v ohybu okolo osy y-y tedy nemusíme nijak redukovat.

Pro dvojose symetrické průřezy H není nutné uvažovat účinek osově síly na plastický moment únosnosti v ohybu okolo osy z-z, pokud je splněna následující podmínka:

$$N_{Ed} = 194,21 \text{ kN} \leq \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{208 \cdot 11 \cdot 235}{1,0} = 537,68 \text{ kN} \quad (2.13)$$

Dále musíme ověřit, zda prut neztrácí stabilitu.

Vzpěrné délky – konzervativně:

v rovině – $L_{cr,y} = 3600 \text{ mm}$

z roviny – $L_{cr,z} = 3600 \text{ mm}$

klopící délka – $L_{LT} = 3600 \text{ mm}$

Vzpěr y-y:

$$N_{cr,y} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \pi^2 \cdot \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,52 \cdot 10^8}{3600^2} = 40\,300,9 \text{ kN} \quad (2.14)$$

Protože je splněna následující podmínka (2.15) pro velikost normálové síly, je možné účinky vzpěru y-y zanedbat.

$$\frac{\gamma_M N_{Ed}}{N_{cr}} = \frac{1 \cdot 194,21}{40300,88} = 0,004 < 0,04 \quad (2.15)$$

Vzpěr z-z:

$$N_{cr,z} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \pi^2 \cdot \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 8,56 \cdot 10^7}{3600^2} = 13\,689,5 \text{ kN} \quad (2.16)$$

Protože je splněna následující podmínka (2.17) pro velikost normálové síly, je možné účinky vzpěru z-z zanedbat.

$$\frac{\gamma_M N_{Ed}}{N_{cr}} = \frac{1 \cdot 194,21}{13689,5} = 0,01 < 0,04 \quad (2.17)$$

Klopení:

$$k_w = 1,0$$

$$k_z = 1,0$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 1600} \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,69 \cdot 10^{12}}{8,1 \cdot 10^4 \cdot 1,88 \cdot 10^6}} = 1,332 \quad (2.18)$$

$$C_1 = 1,85; C_2 = 0$$

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \xi_g)^2} - (C_2 \xi_g) \right] \\ &= \frac{1,85}{1} \left[\sqrt{1 + 1,332^2 + (0 \cdot 0)^2} - (0 \cdot 0) \right] = 3,082 \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L_{LT}} \\ &= 2,949 \cdot \frac{\pi \sqrt{2,1 \cdot 10^5 \cdot 8,56 \cdot 10^7 \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot 1,88 \cdot 10^6}}{3600} \\ &= 4449,44 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,68 \cdot 10^6 \cdot 235}{4257,03 \cdot 10^6}} = 0,314 \quad (2.21)$$

Protože jsou splněny následující podmínky limitní štíhlosti (2.22) a velikosti ohybového momentu (2.23) je možné účinky klopení zanedbat.

$$\overline{\lambda}_{LT} = 0,314 < 0,4 = \overline{\lambda}_{LT,0} \quad (2.22)$$

$$\frac{\gamma_M M_{Ed}}{M_{cr}} = \frac{1,0 \cdot 129,33}{4449,44} = 0,03 \leq 0,16 = \overline{\lambda}_{LT,0}^{-2}, \quad (2.23)$$

Pro ověření únosnosti tedy postačí pevnostní posudek a vliv stability se může vyloučit.

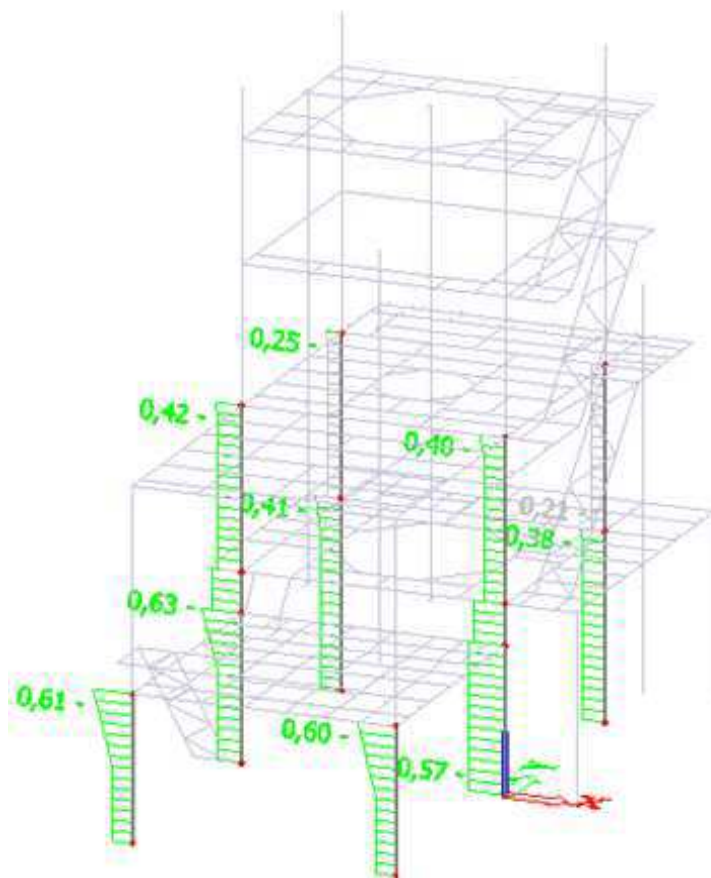
$$\begin{aligned} \sigma_{mises} &= \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z}} \\ &= \frac{194,21 \cdot 10^3}{14,9 \cdot 10^3} + \frac{8,36 \cdot 10^6}{1,87 \cdot 10^6} + \frac{129,33 \cdot 10^6}{8,7 \cdot 10^5} \\ &= 13,036 + 4,47 + 148,64 = 166,14 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (2.24)$$

$$\frac{\sigma_{mises}}{f_y} = \frac{166,8}{235} = 0,71 < 1 \quad (2.25)$$

→ VYHOVUJE

Další prvky jistě také vyhoví.

Níže je na obr. 49 a v tabulce 2 přiložen stručný posudek z programu SCIA Engineer. Detailnější posudek je obsažen v příloze. Posuzuje se zde ale jen rozhodující ohybová únosnost, proto mohou být výsledku trochu rozdílné.

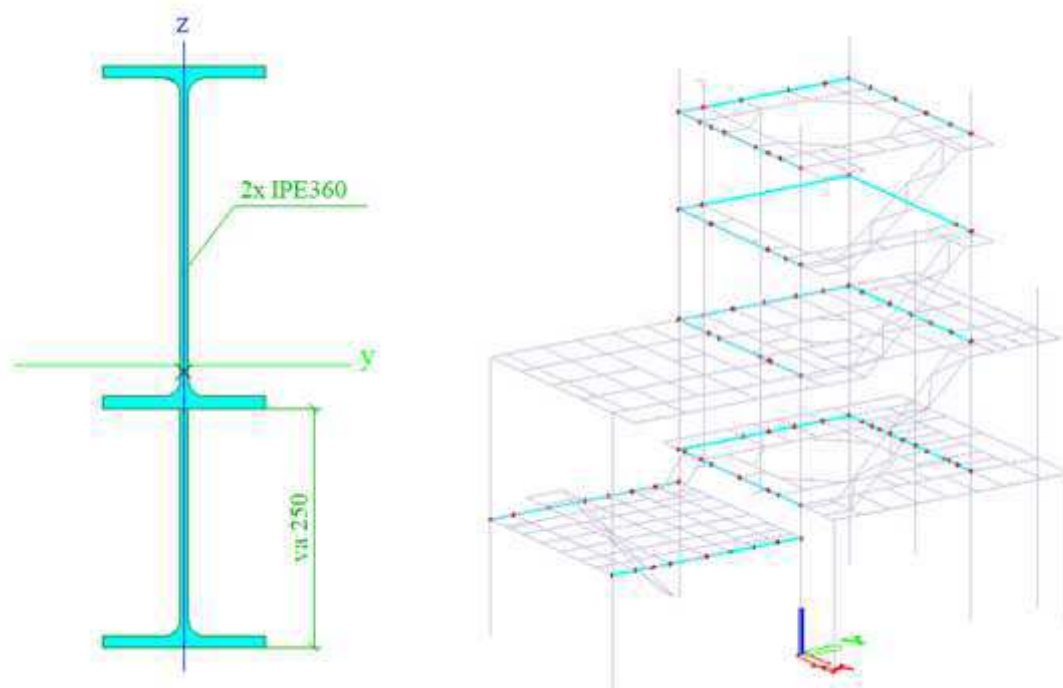


Obr. 49 - Posouzení prvků průřezu HEB 300

Tabulka 2 - Posouzení prvků průřezu HEB 300

Dílec	css	mat	Stav	dx [m]	jed.posudek [-]	pevnost [-]	stab. posudek [-]
607	CS1 - HEB300	S 235	MSÚ/4	3,600	0,60	0,60	0,30
608	CS1 - HEB300	S 235	MSÚ/11	3,600	0,61	0,61	0,51
613	CS1 - HEB300	S 235	MSÚ/24	3,600	0,57	0,57	0,29
614	CS1 - HEB300	S 235	MSÚ/28	4,600	0,38	0,38	0,34
615	CS1 - HEB300	S 235	MSÚ/34	4,600	0,41	0,41	0,31
616	CS1 - HEB300	S 235	MSÚ/47	3,600	0,63	0,63	0,32
617	CS1 - HEB300	S 235	MSÚ/117	0,000	0,40	0,11	0,40
618	CS1 - HEB300	S 235	MSÚ/26	0,000	0,20	0,08	0,20
620	CS1 - HEB300	S 235	MSÚ/83	4,000	0,42	0,42	0,39

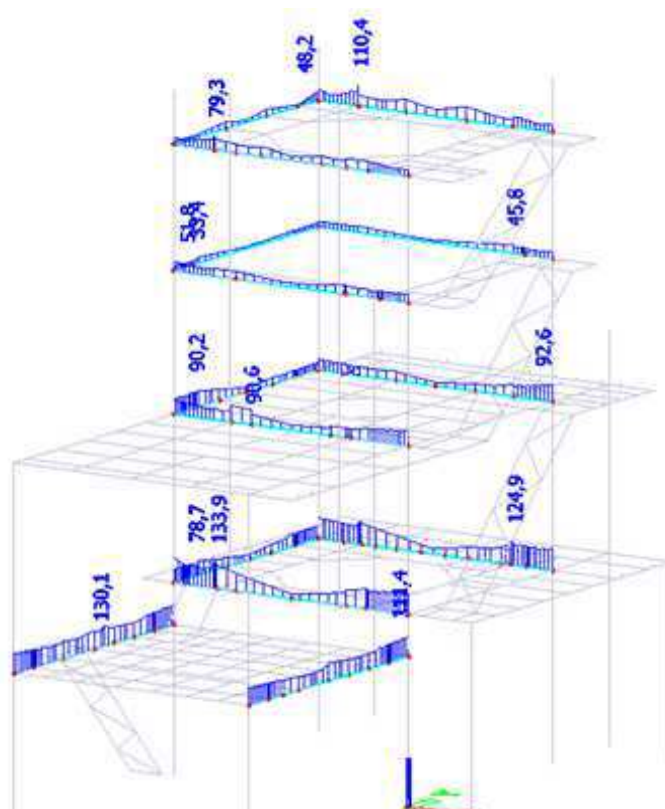
2.3.2 Průvlak IPE 360 + Ivar 250



Obr. 50 – Průvlak IPE 360 + Ivar 250 (vlevo – průřez IPE 360 + Ivar 250; vpravo – vyznačené prvky průřezu)

Tabulka 3 - Popis a průřezové charakteristiky průřezu IPE 360 + Ivar 250

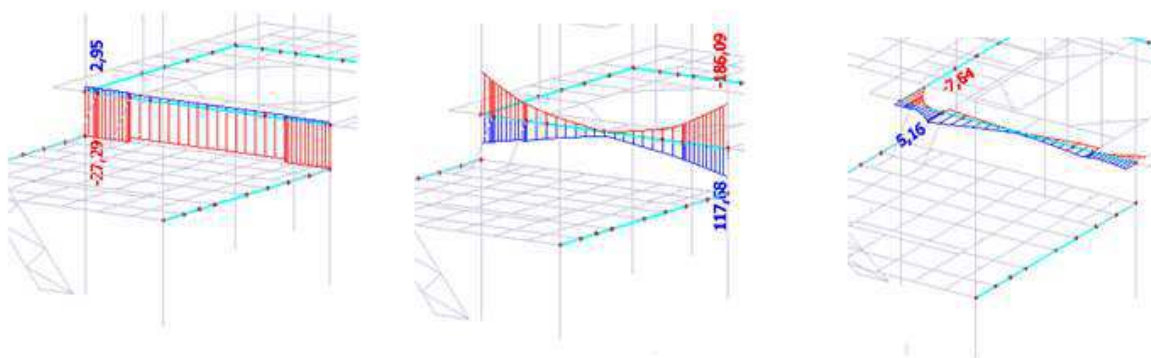
Jméno	CS2	
Typ	I + I prom	
Detailní	IPE360; 250	
Materiál	S 235	
Výroba	svařovaný	
Posudek rovinného vzpěru y-y	b	
Posudek rovinného vzpěru z-z	c	
Klopení	Výchozí	
A [m ²]	1,1477e-02	
A _{y, z} [m ³]	6,4663e-03	5,1607e-03
I _{y, z} [m ⁴]	5,4606e-04	1,5656e-05
I _w [m ⁶], I _t [m ⁴]	9,3573e-07	4,5016e-07
W _{el y, z} [m ³]	1,7380e-03	1,8419e-04
W _{pl y, z} [m ³]	2,0804e-03	2,8785e-04
d _{y, z} [mm]	0	-7
c _{YUSS, ZUSS} [mm]	85	296
α [deg]	0,00	
A _{L, D} [m ² /m]	2,1614e+00	2,1614e+00
M _{ply +, -} [Nm]	4,89e+05	4,89e+05
M _{plz +, -} [Nm]	6,76e+04	6,76e+04



Obr. 51 - Průběh Misesova napětí na prvcích průřezu IPE 360 + Ivar 250

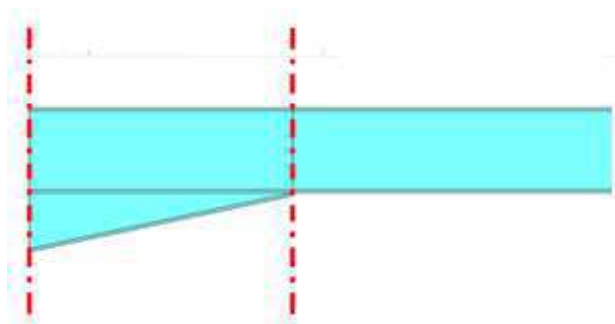
Z průběhu Misesova napětí můžeme předpokládat, že nejvíce namáhány je prvek 22. Hodnoty napětí jsou vykresleny konzervativně z elastických průřezových charakteristik.

Obálky vnitřních sil:



Obr. 52 - Obálky vnitřních sil na posuzovaném prvlaku (vlevo - N ; uprostřed - M_y ; vpravo - M_z)

Prut bude posouzen na nejnepříznivější kombinaci příslušných vnitřních sil. Posouzení bude provedeno v pozici 0,000 m, tzn. na počátku prutu, kde působí celý průřez s náběhem. Druhé posouzení bude v pozici 1,105 m, tzn. v místě, kde končí náběh a působí již jen průřez IPE 360.



Obr. 53 - Naznačení míst posouzení

Pro posouzení v pozici 0,000 m obsahuje kombinace tyto zatěžovací stavy:

Vlastní tíha*1,35 + Podlahy,rošty*1,35 + Technologie*1,5 + Užité1*1,5 + Užité2*1,5 + Užité3*1,5 + Užité4*1,5 + Užité5*1,5 + Užité6*1,5 + Užité-schodiště1*1,5 + Užité-schodiště2*1,5 + Užité-schodiště3*1,5 + Užité-schodiště4*1,5 + Užité-schodiště5*1,5 + ImperfekceX*1,5

Hodnoty vnitřních sil v pozici 0,000 m:

$$N_{Ed} = -17,08 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -182,52 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -4,64 \text{ kNm}$$

Únosnost v tlaku dle (2.1) a (2.2):

$$N_{c,Rd} = f_y \cdot A = 235 \cdot 11,477 \cdot 10^3 = 3501,5 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{17,08}{2697,1} = 0,1 < 1,0$$

Ohybová únosnost dle (2.3), (2.4), (2.5) a (2.6)

$$M_{y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = f_y \cdot W_{pl,y} = 235 \cdot 2,08 \cdot 10^6 = 488,9 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{182,52}{488,9} = 0,37 < 1,0$$

$$M_{z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = f_y \cdot W_{pl,z} = 235 \cdot 2,88 \cdot 10^5 = 67,64 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{4,64}{67,64} = 0,07 < 1,0$$

Při stanovení plastické únosnosti v ohybu se má uvažovat účinek smyku a osově síly. Podle podmínek (2.8), (2.10), (2.11) a (2.12) uvedených v předchozím posudku vyjde, že účinek smykové i osově síly se může zanedbat.

Vzhledem k malé hodnotě osově síly můžeme pomocí podmínek (2.15) a (2.17) uvedených v předchozím posudku zanedbat vliv vzpěru. Klopení se může taky zanedbat, protože poměrná štíhlost pro klopení je pod limitní poměrnou štíhlostí podle (2.22). Stabilita se tudíž neuvažuje a pro posouzení stačí pevnostní posudek dle (2.25).

$$\sigma_{mises} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z}} = \frac{17,08 \cdot 10^3}{11,48 \cdot 10^3} + \frac{182,52 \cdot 10^6}{2,08 \cdot 10^6} + \frac{4,64 \cdot 10^6}{2,88 \cdot 10^5} \\ = 1,488 + 87,733 + 16,120 = 105,34 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{mises}}{f_y} = \frac{105,34}{235} = 0,45 < 1$$

→ VYHOVUJE

Stejným postupem provedeme posudek i v místě, kde končí náběh a působí už jen průřez IPE 360.

Pro posouzení v pozici 1,105 m obsahuje kombinace tyto zatěžovací stavy:

Vlastní tíha*1,35 + Podlahy,rošty*1,35 + Technologie*1,5 + Užitné1*1,5 + Užitné2*1,5 + Užitné-schodiště2*1,5 + Užitné-schodiště3*1,5 + ImperfekceX+*1,5

Hodnoty vnitřních sil v pozici 1,105 m:

$$N_{přisl,Ed} = -24,72 \text{ kN}$$

$$M_{y,max,Ed} = -83,13 \text{ kNm}$$

$$M_{z,přisl,Ed} = -4,18 \text{ kNm}$$

Únosnost v tlaku dle (2.1) a (2.2):

$$N_{c,Rd} = f_y \cdot A = 235 \cdot 7,27 \cdot 10^3 = 1708,45 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{24,72}{1708,45} = 0,01 < 1,0$$

Ohybová únosnost dle (2.3), (2.4), (2.5) a (2.6)

$$M_{y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = f_y \cdot W_{pl,y} = 235 \cdot 1,02 \cdot 10^6 = 239,7 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{83,13}{239,7} = 0,35 < 1,0$$

$$M_{z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = f_y \cdot W_{pl,z} = 235 \cdot 1,91 \cdot 10^5 = 44,89 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{4,18}{44,89} = 0,09 < 1,0$$

Pevnostní posudek dle (2.25):

$$\sigma_{mises} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z}} = \frac{24,72 \cdot 10^3}{7,27 \cdot 10^3} + \frac{83,13 \cdot 10^6}{1,02 \cdot 10^6} + \frac{4,18 \cdot 10^6}{1,91 \cdot 10^5}$$

$$= 3,400 + 81,500 + 21,885 = 106,79 \text{ MPa}$$

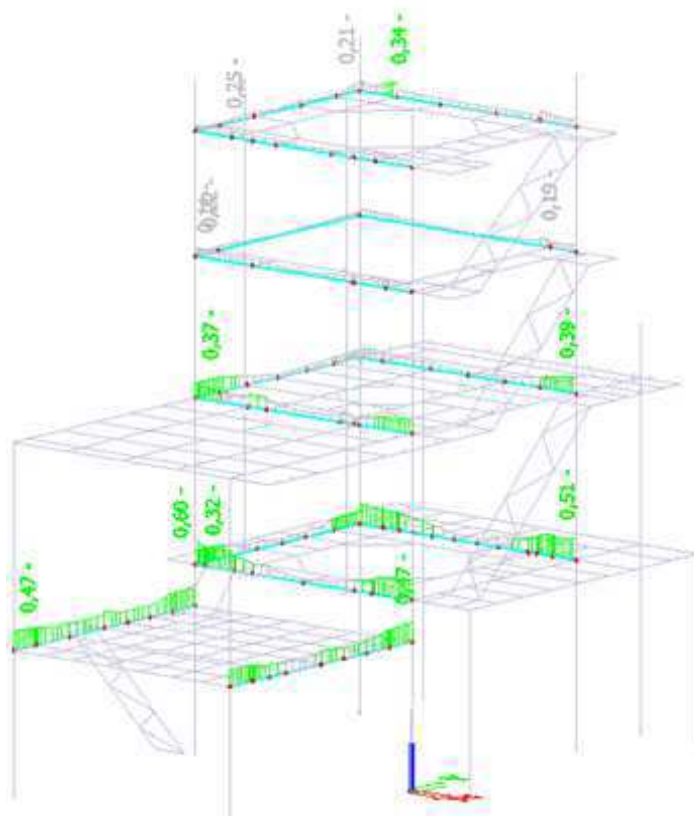
$$\frac{\sigma_{mises}}{f_y} = \frac{106,79}{235} = 0,45 < 1$$

→

VYHOVUJE

Další prvky jistě také vyhoví.

Vpravo je na obr. 54 a níže v tabulce 4 přiložen stručný posudek z programu SCIA Engineer. Detailnější posudek je obsažen v příloze. Posudek z programu SCIA Engineer je hodně konzervativní, jelikož provádí pouze elastický posudek pomocí elastických průřezových charakteristik.

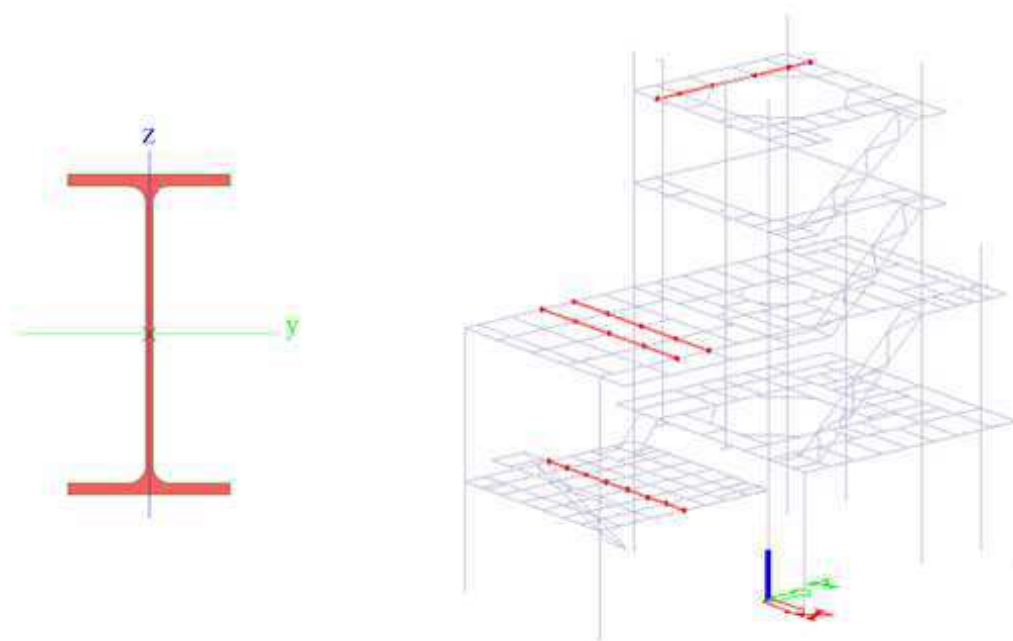


Obr. 54 - Posouzení prvků průřezu IPE 360 + Ivar 250

Tabulka 4 - Posouzení prvků průřezu IPE 360 + Ivar 250

Dílec	css	mat	Stav	dx [m]	jed.posudek [-]	pevnost [-]	stab. posudek [-]
22	CS13 - I + I prom	S 235	MSÚ/26	0,000	0,60	0,60	0,52
18	CS13 - I + I prom	S 235	MSÚ/27	0,816	0,32	0,27	0,32
21	CS13 - I + I prom	S 235	MSÚ/28	6,500	0,51	0,51	0,50
26	CS13 - I + I prom	S 235	MSÚ/29	0,000	0,47	0,47	0,45
24	CS13 - I + I prom	S 235	MSÚ/30	6,630	0,47	0,47	0,47
27	CS13 - I + I prom	S 235	MSÚ/32	0,612	0,37	0,37	0,37
30	CS13 - I + I prom	S 235	MSÚ/33	6,500	0,39	0,39	0,34
32	CS13 - I + I prom	S 235	MSÚ/34	0,000	0,22	0,22	0,21
31	CS13 - I + I prom	S 235	MSÚ/35	0,000	0,11	0,11	0,11
34	CS13 - I + I prom	S 235	MSÚ/36	5,616	0,19	0,14	0,19
38	CS13 - I + I prom	S 235	MSÚ/37	1,105	0,25	0,25	0,12
35	CS13 - I + I prom	S 235	MSÚ/38	6,000	0,21	0,21	0,13
36	CS13 - I + I prom	S 235	MSÚ/38	1,105	0,34	0,34	0,17

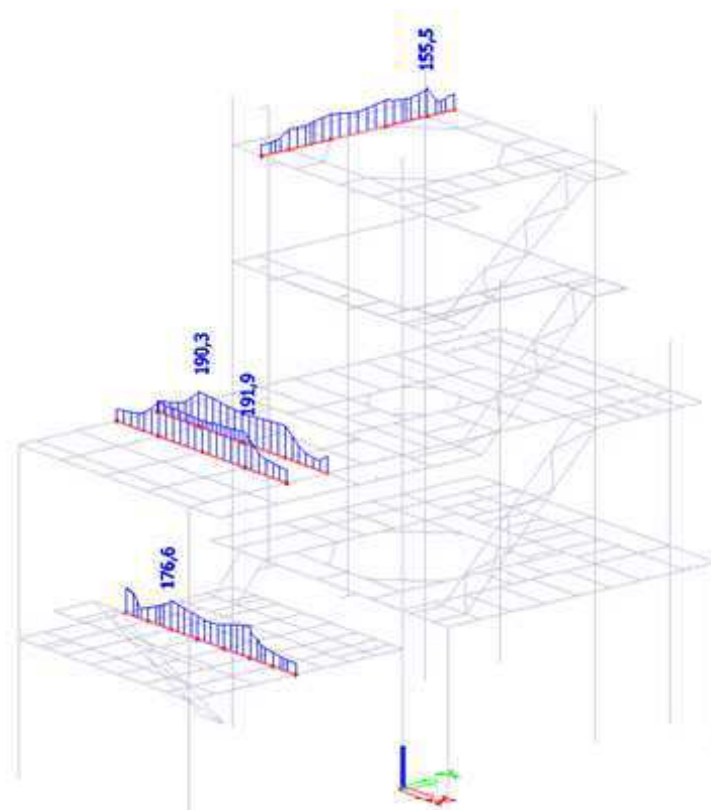
2.3.3 Nosník IPE 300



Obr. 55 - Nosník IPE 300 (vlevo - průřez IPE 300; vpravo - vyznačené prvky průřezu IEPE 300)

Tabulka 5 - Popis a průřezové charakteristiky průřezu IPE 300

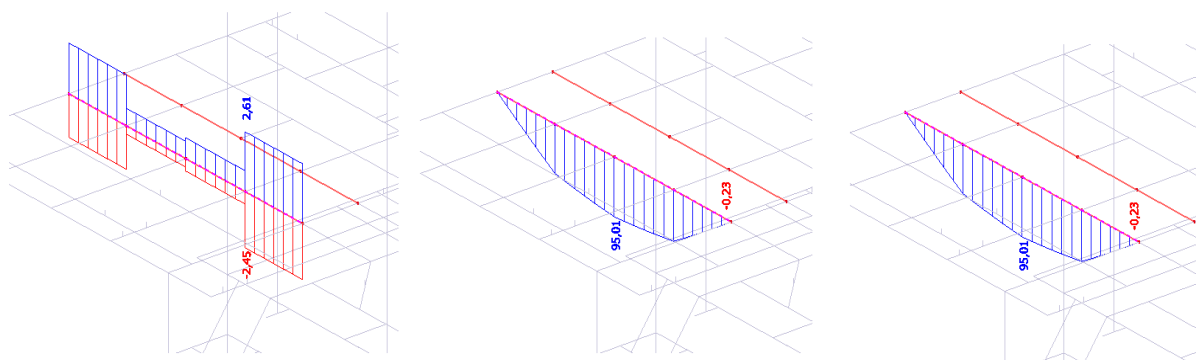
Jméno	CS3	
Typ	IPE 300	
Zdroj hodnot	ArcelorMittal / Sales Programme / Version 2012-1	
Materiál	S 235	
Výroba	válcovaný	
Posudek rovinného vzpěru y-y	a	
Posudek rovinného vzpěru z-z	b	
Klopení	Výchozí	
A [m ²]	5,3800e-03	
A _{y, z} [m ²]	3,1835e-03	2,1775e-03
I _{y, z} [m ⁴]	8,3560e-05	6,0400e-06
I _w [m ⁶], I _t [m ⁴]	1,2600e-07	2,0100e-07
W _{el y, z} [m ³]	5,5700e-04	8,0500e-05
W _{pl y, z} [m ³]	6,2800e-04	1,2500e-04
d _{y, z} [mm]	0	0
c _{YUSS, ZUSS} [mm]	75	150
α [deg]	0,00	
A _{L, D} [m ² /m]	1,1599e+00	1,1599e+00
M _{pl y, -} [Nm]	1,48e+05	1,48e+05
M _{pl z, -} [Nm]	2,94e+04	2,94e+04



Obr. 56 - Průběh Misesova napětí na prvcích průřezu IPE 300

Z průběhu Misesova napětí můžeme předpokládat, že nejvíce namáhány je prvek 379.

Obálky vnitřních sil



Obr. 57 - Obálky vnitřních sil (vlevo - N; uprostřed - M_y ; vpravo - M_z)

Prut bude posouzen na nejnepříznivější kombinaci uprostřed rozpětí prutu, kde vzniká maximální ohybový moment M_y . Kombinace obsahuje tyto zatěžovací stavy:

Vlastní tíha*1,35 + Podlahy,rošty*1,35 + Technologie*1,5 + Užitné1*1,5 + Užitné3*1,5 + Užitné5*1,5 + Užitné6*1,5 + Užitné-schodiště1*1,5 + Užitné-schodiště2*1,5 + Užitné-schodiště4*1,5 + ImperfekceY-*1,5

Hodnoty vnitřních sil:

$$N_{Ed} = 0,33 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 95,01 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,09 \text{ kNm}$$

Únosnost v tahu:

$$N_{t,Rd} = f_y \cdot A = 235 \cdot 5,38 \cdot 10^3 = 1264,3 \text{ kN} \quad (2.26)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{0,33}{1264,3} = 0 < 1,0 \quad (2.27)$$

Ohybová únosnost dle (2.3), (2.4), (2.5) a (2.6)

$$M_{y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = f_y \cdot W_{pl,y} = 235 \cdot 6,28 \cdot 10^5 = 147,58 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{95,01}{147,58} = 0,64 < 1,0$$

$$M_{z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = f_y \cdot W_{pl,z} = 235 \cdot 1,25 \cdot 10^5 = 29,38 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{0,09}{29,38} = 0 < 1,0$$

Při stanovení plastické únosnosti v ohybu se má uvažovat účinek smyku a osově síly. Podle podmínek (2.8), (2.10), (2.11) a (2.12) vyjde, že účinek smykové i osově síly se může zanedbat.

Vzhledem k malé hodnotě osově síly můžeme pomocí podmínek (2.15) a (2.17) zanedbat vliv vzpěru. Klopení se může taky zanedbat, protože poměrná štíhlost pro klopení je pod limitní poměrnou štíhlostí podle (2.22). Stabilita se tudíž neuvažuje a pro posouzení stačí pevnostní posudek dle (2.25).

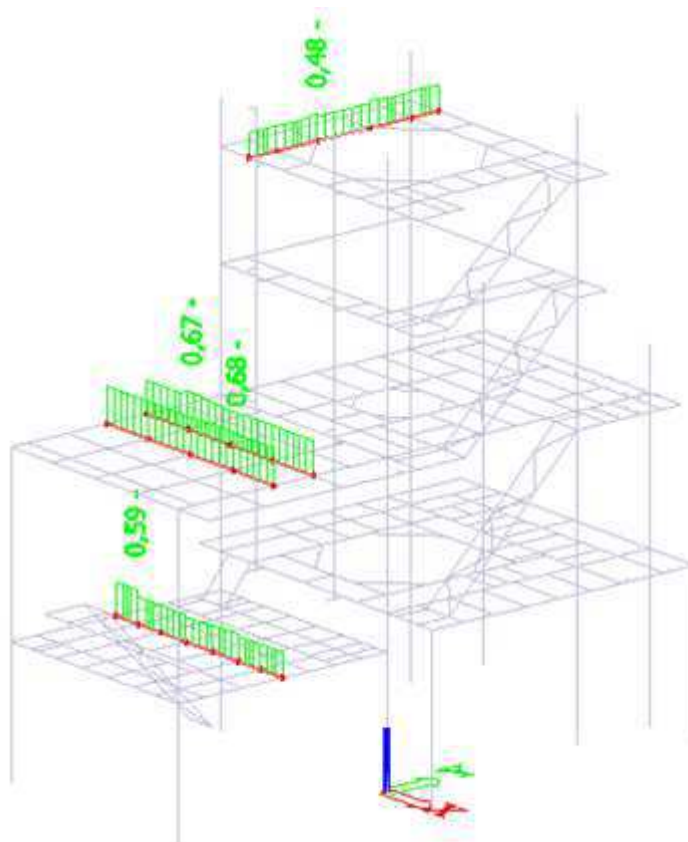
$$\begin{aligned} \sigma_{mises} &= \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z}} = \frac{0,33 \cdot 10^3}{5,38 \cdot 10^3} + \frac{95,01 \cdot 10^6}{6,28 \cdot 10^5} + \frac{0,09 \cdot 10^6}{1,25 \cdot 10^5} \\ &= 0,061 + 151,290 + 0,720 = 152,07 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\frac{\sigma_{mises}}{f_y} = \frac{152,07}{235} = 0,65 < 1$$

→ VYHOVUJE

Další prvky jistě také vyhoví.

Níže je přiložen stručný posudek z programu SciaEngineer. Detailnější posudek je obsažen v příloze.

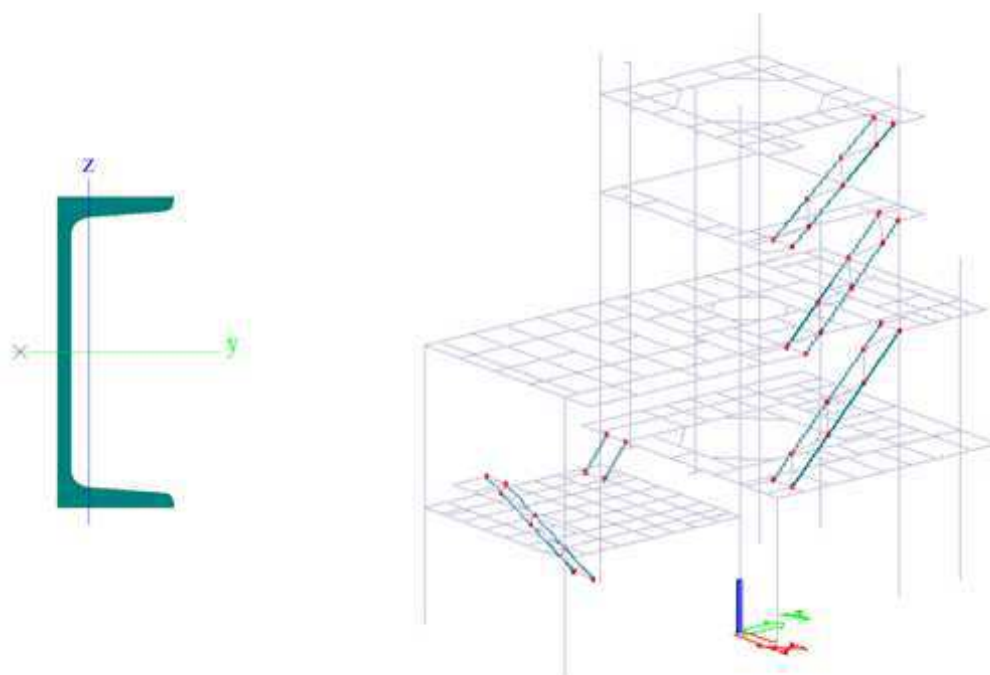


Obr. 58 - Posouzení prvků průřezu IPE 300

Tabulka 6 - Posouzení prvků průřezu IPE 300

Dílec	css	mat	Stav	dx [m]	jed.posudek [-]	pevnost [-]	stab. posudek [-]
47	CS3 - IPE300	S 235	MSÚ/12	0,000	0,59	0,49	0,59
84	CS3 - IPE300	S 235	MSÚ/13	2,160	0,48	0,41	0,48
380	CS3 - IPE300	S 235	MSÚ/14	1,600	0,67	0,56	0,67
379	CS3 - IPE300	S 235	MSÚ/15	4,900	0,68	0,55	0,68

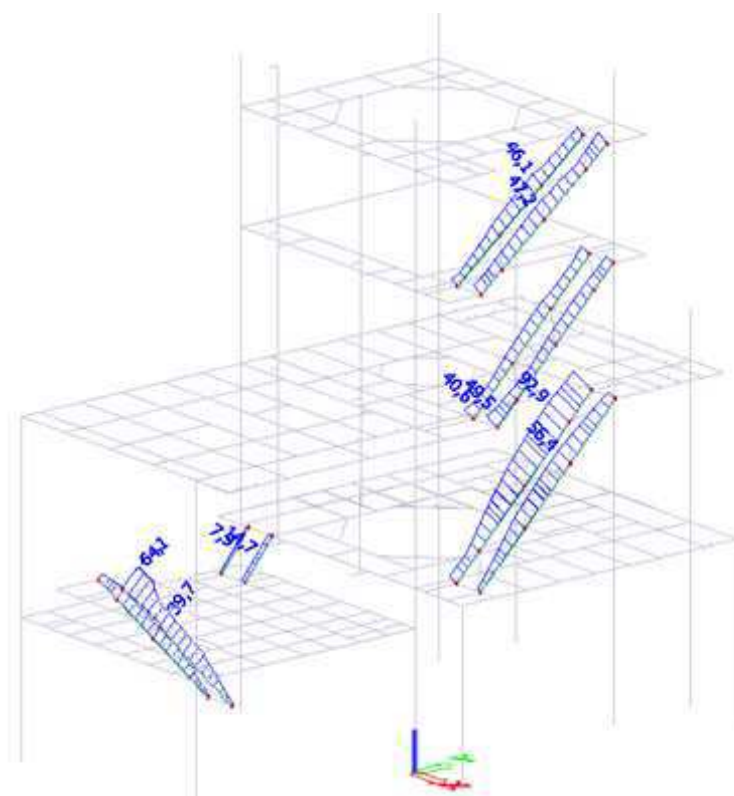
2.3.4 Schodišťový nosník UNP 200



Obr. 59 - Nosník schodiště UNP 200 (vlevo - průřez UNP 200; vpravo - vyznačené prvky průřezu UNP 200)

Tabulka 7 - Popis a průřezové charakteristiky průřezu UNP 200

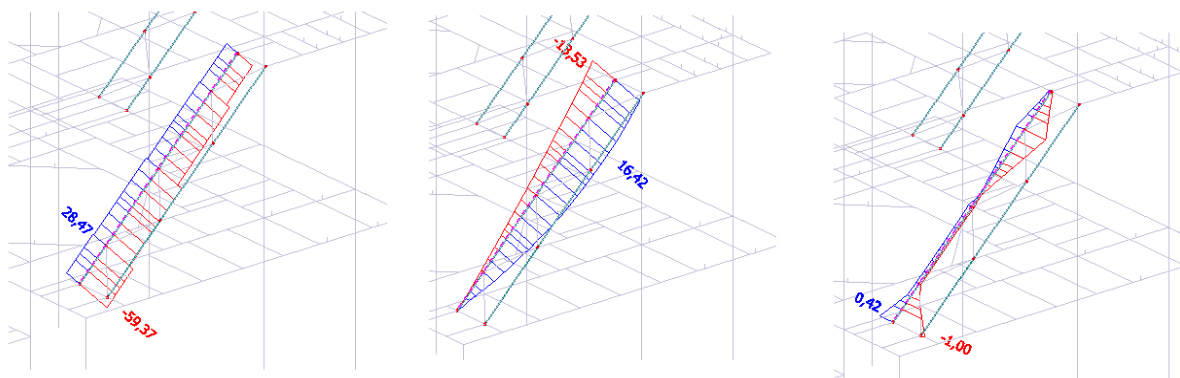
Jméno	CS11		
Typ	UNP200		
Zdroj hodnot	Stahlbau Zentrum Schweiz / Konstruktionstabellen / 9.Ausgabe 2005		
Materiál	S 235		
Výroba	válcovaný		
Posudek rovinného vzpěru y-y	c		
Posudek rovinného vzpěru z-z	c		
Klopení	Výchozí		
$A [m^2]$	3,2200e-03		
$A_{y, z} [m^2]$	1,6758e-03	1,6900e-03	
$I_{y, z} [m^4]$	1,9100e-05	1,4800e-06	
$I_{w [m^6], t [m^4]}$	1,0499e-08	1,2000e-07	
$W_{el y, z} [m^3]$	1,9100e-04	2,7000e-05	
$W_{pl y, z} [m^3]$	2,2800e-04	5,1800e-05	
$d_{y, z} [mm]$	-44	0	
$c_{YUSS, ZUSS} [mm]$	20	100	
$\alpha [deg]$	0,00		
$A_L, D [m^2/m]$	6,6100e-01	6,6027e-01	
$M_{ply +, -} [Nm]$	5,35e+04	5,35e+04	
$M_{plz +, -} [Nm]$	1,22e+04	1,22e+04	



Obr. 60 - Průběh Misesova napětí na prvcích průřezu UNP 200

Z průběhu Misesova napětí můžeme předpokládat, že nejvíce namáhány je prvek 273.

Obálky vnitřních sil



Nejnepříznivější kombinace na konci nosníku v místě maximálního ohybového momentu M_y obsahuje tyto zatěžovací stavy:

Vlastní tíha*1,35 + Podlahy,rošty*1,35 + Technologie*1,5 + Užité1*1,5 + Užité2*1,5 + Užité3*1,5 + Užité4*1,5 + Užité6*1,5 + Užité-schodiště3*1,5 + Užité-schodiště4*1,5 + ImperfekceY-*1,5

Hodnoty vnitřních sil:

$$N_{Ed} = 13,94 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 16,42 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -0,03 \text{ kNm}$$

Únosnost v tahu dle (2.26) a (2.27):

$$N_{c,Rd} = f_y \cdot A = 235 \cdot 3,22 \cdot 10^3 = 756,7 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{13,94}{756,7} = 0,02 < 1,0$$

Ohybová únosnost dle (2.3), (2.4), (2.5) a (2.6)

$$M_{y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = f_y \cdot W_{pl,y} = 235 \cdot 2,28 \cdot 10^5 = 53,58 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{16,42}{53,58} = 0,31 < 1,0$$

$$M_{z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = f_y \cdot W_{pl,z} = 235 \cdot 5,12 \cdot 10^4 = 12,03 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{0,03}{12,03} = 0 < 1,0$$

Při stanovení plastické únosnosti v ohybu se má uvažovat účinek smyku a osově síly. Podle podmínek (2.8), (2.10), (2.11) a (2.12) vyjde, že účinek smykové i osově síly se může zanedbat.

Vzhledem k malé hodnotě osově síly můžeme pomocí podmínek (2.15) a (2.17) zanedbat vliv vzpěru.

Klopení:

$$k_w = 1,0$$

$$k_z = 1,0$$

Bezrozměrný parametr kroucení spočteme dle (2.9):

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 1600} \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 9,07 \cdot 10^9}{8,1 \cdot 10^4 \cdot 1,26 \cdot 10^5}} = 0,714$$

$$C_1 = 1; C_2 = 0$$

Bezrozměrný kritický moment dle (2.10):

$$\begin{aligned}\mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \xi_g)^2} - (C_2 \xi_g) \right] \\ &= \frac{1}{1} \left[\sqrt{1 + 0,714^2 + (0)^2} - (0) \right] = 1,229\end{aligned}$$

Pružný kritický moment dle (2.11):

$$\begin{aligned}M_{cr} &= \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L_{LT}} \\ &= 1,229 \cdot \frac{\pi \sqrt{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,48 \cdot 10^6 \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot 1,26 \cdot 10^5}}{1900} \\ &= 114,442 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Poměrná štíhlost pro klopení dle (2.12):

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,28 \cdot 10^5 \cdot 235}{114,442 \cdot 10^6}} = 0,684 > 0,4$$

Poměrná štíhlost nesplňuje podmínku (2.22) a překračuje limitní poměrnou štíhlost, a proto nemůžeme klopení zanedbat.

Jedná se o jiný než I průřez, proto je přiřazena křivka klopení $d \rightarrow \alpha_{LT} = 0,76$

$$\begin{aligned}\phi_{LT} &= 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \\ &= 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (0,684 - 0,2) + 0,684^2] = 0,918\end{aligned} \quad (2.28)$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,918 + \sqrt{0,918^2 - 0,684^2}} = 0,653 \quad (2.29)$$

$< 1,0$

Redukovaná ohybová tuhost:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,653 \cdot 2,28 \cdot 10^5 \cdot \frac{235}{1,0} = 35,014 \text{ kNm} \quad (2.30)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{16,42}{35,014} = 0,47 < 1,0 \quad (2.31)$$

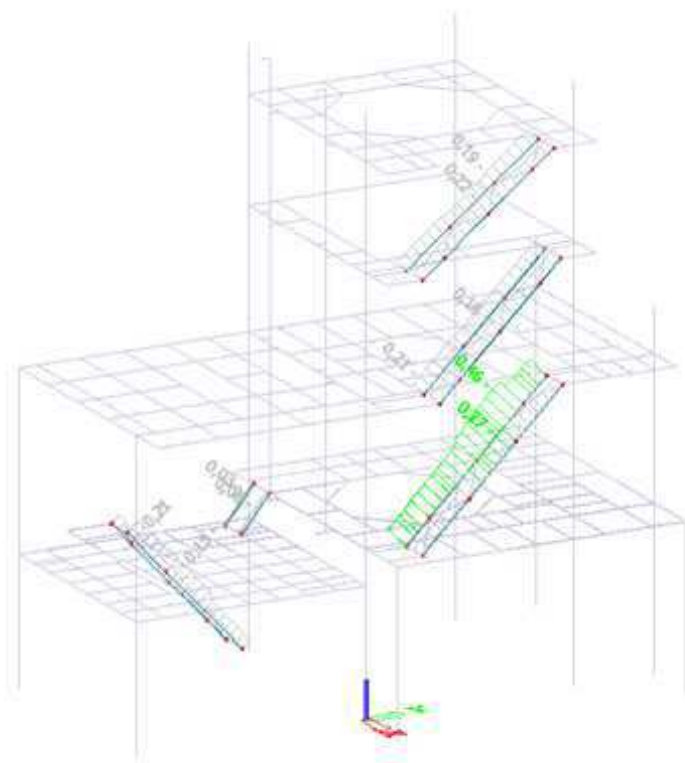
Posouzení na kombinaci ohybu a osového tahu:

$$\begin{aligned}\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} &= \frac{-13,94}{756,7} + \frac{16,42}{35,01} + \frac{0,03}{12,03} = -0,02 + 0,47 + 0 \\ &= 0,45 < 1,0\end{aligned} \quad (2.32)$$

\rightarrow VYHOVUJE

Další prvky jistě také vyhoví.

Níže je přiložen stručný posudek z programu SciaEngineer. Detailnější posudek je obsažen v příloze.



Obr. 61 - Posouzení prvků průřezu UNP 200

Tabulka 8 - Posouzení prvků průřezu UNP 200

Dílec	css	mat	Stav	dx [m]	jed.posudek [-]	pevnost [-]	stab. posudek [-]
272	CS11 - UNP200	S 235	MSÚ/158	2,171	0,27	0,20	0,27
273	CS11 - UNP200	S 235	MSÚ/169	1,221	0,46	0,33	0,46
274	CS11 - UNP200	S 235	MSÚ/274	2,440	0,18	0,12	0,18
275	CS11 - UNP200	S 235	MSÚ/186	4,880	0,21	0,17	0,21
276	CS11 - UNP200	S 235	MSÚ/108	2,426	0,22	0,17	0,22
277	CS11 - UNP200	S 235	MSÚ/301	1,617	0,19	0,17	0,19
270	CS11 - UNP200	S 235	MSÚ/18	2,447	0,15	0,15	0,06
579	CS11 - UNP200	S 235	MSÚ/223	0,516	0,06	0,06	0,05
578	CS11 - UNP200	S 235	MSÚ/229	0,000	0,03	0,03	0,00
637	CS11 - UNP200	S 235	MSÚ/41	4,894	0,29	0,29	0,26

2.4 Posouzení na mezní stav použitelnosti

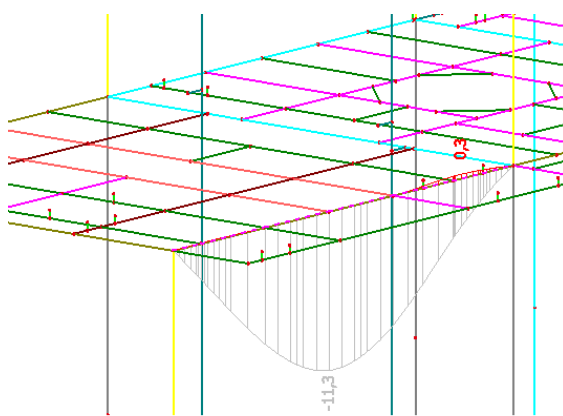
2.4.1 MSP – průvlaky, nosníky

Posouzení je provedeno z relativních deformací jednotlivých nosných prvků. Podle zadavatele jsou limitní hodnoty průhybů zadány různě pro hlavní průvlaky a podružnější nosníky:

$$\delta_{lim,průvlak} = \frac{L}{500} \quad (2.33)$$

$$\delta_{lim,nosník} = \frac{L}{300} \quad (2.34)$$

Maximální průhyb hlavních průvlaků vzniká na prvku 367, který je tvořen průřezem s náběhem IPE 300 + I var 250, je délky 6,63 m a nachází se na plošině +8,600 m.



Obr. 62 - Maximální průhyb průvlaku

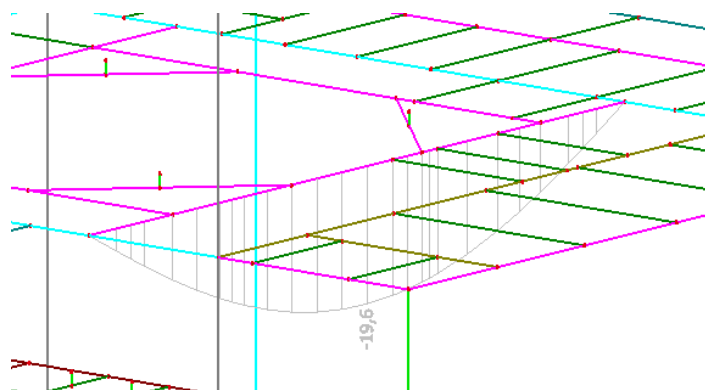
Dovolený průhyb je definován podle (2.61):

$$\delta_{lim,průvlak} = \frac{6630}{500} = 13,26 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$\delta_{max,průvlak} = 11,3 \text{ mm} < \delta_{lim,průvlak} = 13,26 \text{ mm}$$

Maximální průhyb ze všech nosníků vzniká na prvku 471, který je tvořen průřezem IPE 200, je délky 6 m a nachází se uprostřed na plošině +4,600 m. Maximální průhyb na tomto místě se očekává vzhledem k umístění nejtěžšího stroje.



Obr. 63 - Maximální průhyb nosníku

Dovolený průhyb je definován podle (2.62):

$$\delta_{lim,nosník} = \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm}$$

Posouzení:

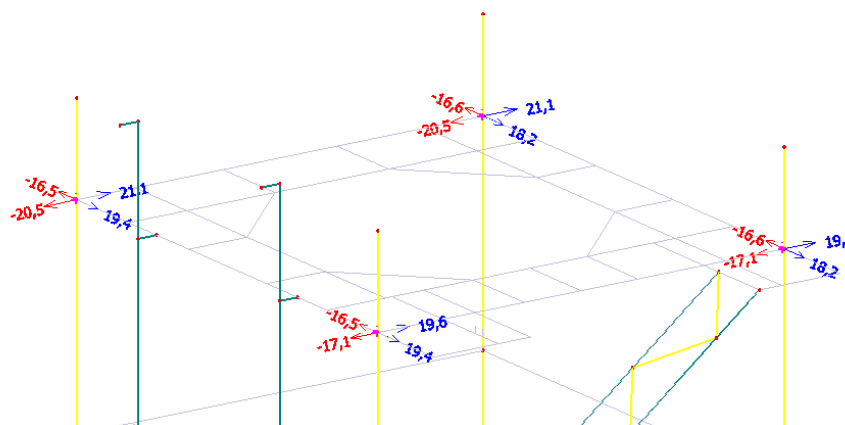
$$\delta_{max,nosník} = 19,6 \text{ mm} < \delta_{lim,nosník} = 20 \text{ mm}$$

2.4.2 MSP – sloupy

Posouzení sloupů je provedeno na požadavek zadavatele

2.4.2.1 MSP – 5%

. V kombinaci jsou obsaženy zatěžovací stavy od veškerého stálého i užitného zatížení a imperfekce v podobě 5% horizontálního zatížení. Je udán limitní posun nejvyšších bodů horní plošiny +15,000 m.



Obr. 64 - Posuny horní plošiny pro posouzení MSP - 5%

$$\delta_{lim} = \frac{H}{600} = \frac{15000}{600} = 25 \text{ mm} \quad (2.35)$$

Posouzení:

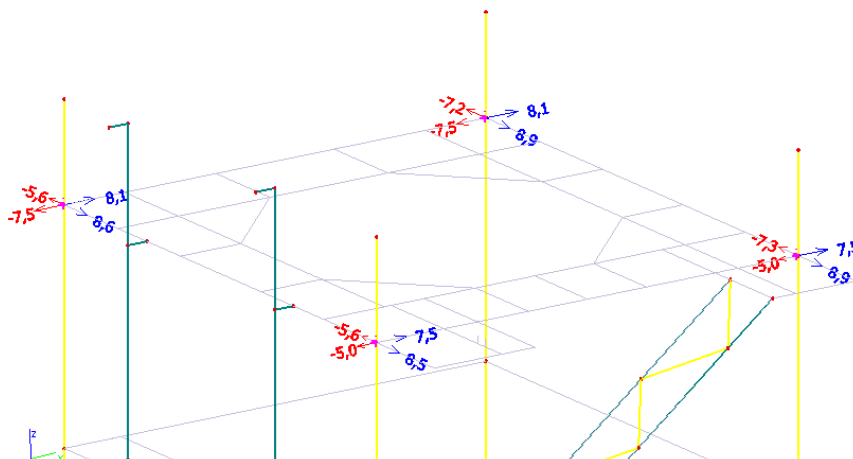
$$\delta_{max} = 21,1 \text{ mm} < \delta_{lim} = 25 \text{ mm}$$

→

VYHOVUJE

2.4.2.2 MSP – 10%

V kombinaci jsou obsaženy zatěžovací stavy od veškerého stálého i užitečného zatížení a imperfekce v podobě 10% horizontálního zatížení. Je udán limitní posun nejvyšších bodů horní plošiny 12 mm.



Obr. 65 - Posuny horní plošiny pro posouzení na MSP - 10%

$$\delta_{lim} = 12 \text{ mm}$$

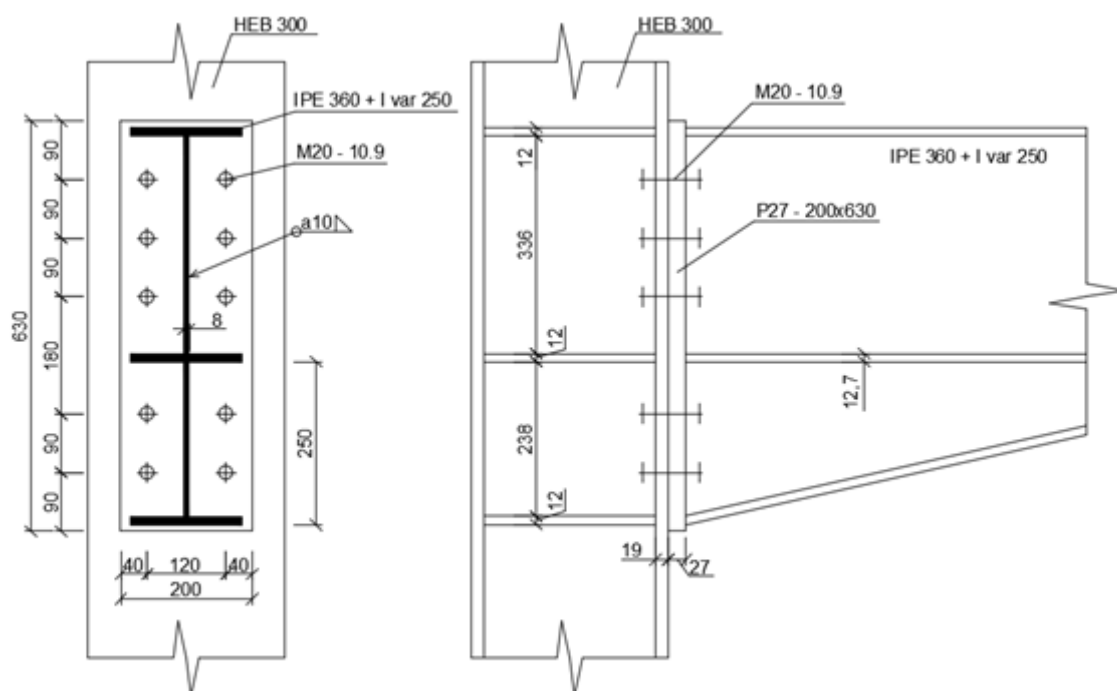
Posouzení dle ____:

$$\delta_{max} = 8,9 \text{ mm} < \delta_{lim} = 12 \text{ mm}$$

2.5 Posudek vybraných spojů

2.5.1 Přípoj průvlaku na sloup

Přípoj je navržen jako šroubovaný spoj s čelní deskou a pěti řadami šroubů. Šrouby M20 jsou nepředepnuté z materiálu 10.9.



Obr. 66 - Schéma spoje průvlaku na sloup

V místě styku působí vnitřní síly:

$$V_{z,Ed} = 115,44 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 182,59 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 13,25 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 4,64 \text{ kNm}$$

Svarový přípoj nosníku k čelní desce

Navržený svar $a = 10 \text{ mm}$

Smykové napětí ve svaru na stojinách nosníku:

$$\begin{aligned} \tau_{\parallel,w} &= \frac{V_{z,Ed}}{2a((h - 2t_f) + (h_{var} - t_f))} \\ &= \frac{115,44 \cdot 10^3}{2 \cdot 10 \cdot (360 - 2 \cdot 12,7) + (250 - 12,7)} = 10,09 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (2.36)$$

Napětí ve svarech kolmo na směr svarového housenky se stanoví pro moment setrvačnosti svarového obrazce I_w :

$$I_w = 397,49 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\perp,w} = \sigma_{\perp,w} = \frac{M_{y,Ed} z_w}{I_w \sqrt{2}} = \frac{182,59 \cdot 10^6 \cdot (315 - 12,7)}{397,49 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{2}} = 98,20 \text{ MPa} \quad (2.37)$$

Výsledné namáhání:

$$\sqrt{\sigma_{\perp,w}^2 + 3(\tau_{\perp,w}^2 + \tau_{\parallel,w}^2)} = \sqrt{98,2^2 + 3 \cdot (98,2^2 + 10,09^2)} = 197,16 \text{ MPa} \quad (2.38)$$

Posouzení:

$$197,16 \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \quad (2.39)$$

$$\sigma_{\perp,w} = 98,2 \text{ MPa} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \quad (2.40)$$

→ Svary na pásnici VYHOVÍ

Smykové napětí ve svarech na pásnicích nosníku:

$$\tau_{\parallel,f} = \frac{V_{y,Ed}}{2a(b + 2a) + 4a(b + 2a - t_w)} \quad (2.41)$$

$$= \frac{115,44 \cdot 10^3}{2 \cdot 10 \cdot (360 + 2 \cdot 10) + 4 \cdot 10 \cdot (250 + 2 \cdot 10 - 12,7)} = 1,20 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp,f} = \sigma_{\perp,f} = \frac{M_{z,Ed} z_f}{I_w \sqrt{2}} = \frac{4,64 \cdot 10^6 \cdot (315 + 10)}{379,49 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{2}} = 105,57 \text{ MPa} \quad (2.42)$$

Výsledné namáhání:

$$\sqrt{\sigma_{\perp,f}^2 + 3(\tau_{\perp,f}^2 + \tau_{\parallel,f}^2)} = \sqrt{105,57^2 + 3 \cdot (105,57^2 + 1,2^2)} = 211,14 \text{ MPa} \quad (2.43)$$

Posouzení dle (2.36):

$$211,14 \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,f} = 105,57 \text{ MPa} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \quad (2.44)$$

→ Svary na stojině VYHOVÍ

Šroubovaný přípoj čelní desky k pásnici sloupu

Navržená čelní deska: 200 x 630 x 27 mm

Počet šroubů: 10

Předpokládáme, že se čelní deska otáčí jako tuhý celek kolem středu tlačené pásnice nosníku. Moment od vnější síly tak bude v rovnováze s momenty od sil v jednotlivých šroubech. Za předpokladu pružného rozdělení sil ve šroubech jsou síly úměrné vzdálenosti od středu otáčení.

$$\begin{aligned}
 M_{y,Ed} &= 2 \cdot \left(\frac{F_{1,Ed}}{r_1} (r_5^2 + r_4^2 + r_3^2 + r_2^2 + r_1^2) \right) \\
 &= 2 \cdot \left(\frac{F_{1,Ed}}{0,524} (0,074^2 + 0,164^2 + 0,344^2 + 0,434^2 + 0,524^2) \right) \\
 &= 2,34 F_{1,Ed}
 \end{aligned} \tag{2.45}$$

Sílu v horní řadě šroubů vypočítáme:

$$F_{1,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{2,34} = \frac{182,59}{2,34} = 78,04 \text{ kN} \tag{2.46}$$

Vlivem páčení ale dojde k deformaci přírub a tím ke vzniku tlakové síly. Z podmínky rovnováhy pak vyplývá, že síla do jednoho šroubu bude větší. Využijeme vztahu, který definuje minimální tloušťku příruby, při které nemusíme s páčením uvažovat.

$$t_e = 4,3 \sqrt[3]{\frac{bd^2}{a}} = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{56 \cdot 20^2}{40}} = 35,44 \text{ mm} > t_p = 27 \text{ mm} \tag{2.47}$$

→ nutno uvažovat vliv páčení

Přibližně pak platí:

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \frac{t_e^3 - t_p^3}{d^2} = 1 + 0,005 \frac{35,44^3 - 27^3}{20^2} = 1,311 \tag{2.48}$$

$$F_{t,y,1,Ed} = \gamma_p F_{1,Ed} = 1,311 \cdot 78,04 = 102,28 \text{ kN} \tag{2.49}$$

O únosnosti šroubového T přípoje v tahu ale nerozhoduje jen porušení šroubů, ale při menší tloušťce desky nebo pásnice sloupu také porušení těchto částí. Vyjdeme ze zjednodušeného postupu, který stanovuje minimální potřebnou tloušťku čelní desky, resp. pásnice sloupu.

$$t_{min} = \sqrt{\frac{6M_c \gamma_{M0}}{f_y b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 3,07 \cdot 1,0}{235 \cdot 112}} = 26,45 \text{ mm} < t_p = 27 \text{ mm} \tag{2.50}$$

→ T průřez VYHOVUJE

Stejným postupem získáme tahovou sílu od působení momentu $M_{z,Ed}$.

$$M_{z,Ed} = 5 \cdot \left(\frac{F_{1,Ed}}{r_1} (r_2^2 + r_1^2) \right) = 5 \cdot \left(\frac{F_{1,Ed}}{0,16} (0,04^2 + 0,16^2) \right) = 0,85 F_{1,Ed} \tag{2.51}$$

Sílu v levé řadě šroubů vypočítáme:

$$F_{t,z,1,Ed} = \frac{M_{z,Ed}}{0,85} = \frac{4,64}{0,85} = 5,459 \text{ kN} \tag{2.52}$$

Celková tahová síla ve šroubu:

$$F_{t,Ed} = \sqrt{F_{t,y,1,Ed}^2 + F_{t,z,1,Ed}^2} = \sqrt{102,28^2 + 5,46^2} = 102,43 \text{ kN} \quad (2.53)$$

Únosnost šroubu v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_S}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 245}{1,25} = 176,4 \text{ kN} > 102,43 \text{ kN} \quad (2.54)$$

→ Šrouby VYHOVÍ na tah

Pokud uvažujeme pružné rozdělení sil ve šroubech, je třeba předpokládat, že všechny šrouby přenesou stejnou smykovou sílu:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{\left(\frac{V_{z,Ed}}{10}\right)^2 + \left(\frac{V_{y,Ed}}{10}\right)^2} = \sqrt{11,54^2 + 1,33^2} = 11,62 \text{ kN} \quad (2.55)$$

Návrhová únosnost jednoho šroubu ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_S}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 1000 \cdot 245}{1,25} = 117,6 \text{ kN} > 11,62 \text{ kN} \quad (2.56)$$

→ Šrouby VYHOVÍ na střih

Návrhová únosnost v otláčení desky:

$$k_1 = \min \left[\begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \frac{e_2}{d_0} = 3,39 \end{array} \right] = 2,5 \quad (2.57)$$

$$\alpha_b = \min \left[\begin{array}{c} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = 2,78 \end{array} \right] \quad (2.58)$$

$$\frac{e_1}{3d_0} = 1,364 \quad (2.59)$$

$$\frac{p_1}{3d_0} = 1,136 \quad (2.60)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 27}{1,25} = 388,8 \text{ kN} > 11,62 \text{ kN} \quad (2.61)$$

→ Čelní deska VYHOVÍ na otláčení

Pásnice sloupu v otláčení také jistě vyhoví.

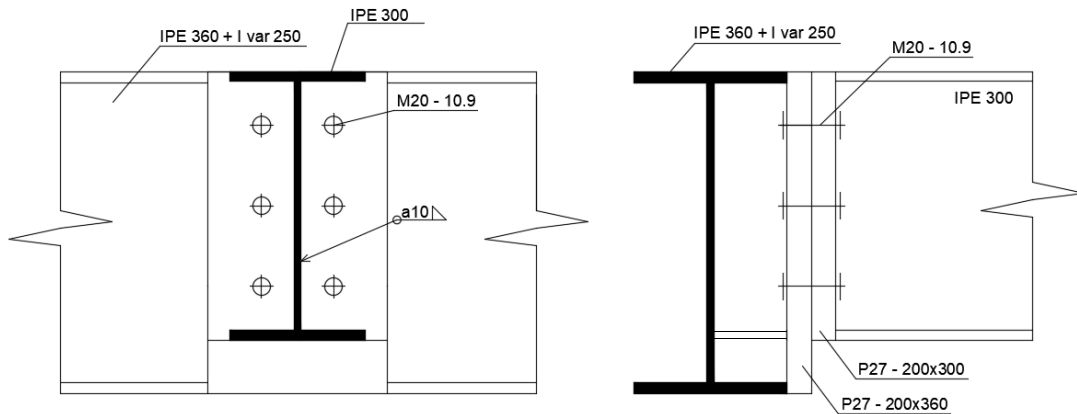
Kombinace stříhu a tahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} = \frac{11,62}{117,6} + \frac{102,42}{1,4 \cdot 176,4} = 0,099 + 0,415 = 0,51 < 1,0 \quad (2.62)$$

→ VYHOVUJE

2.5.2 Přípoj nosníku na průvlak

Přípoj je navržen jako šroubovaný spoj s čelní deskou a třemi řadami šroubů. Šrouby M20 jsou nepředepnuté z materiálu 10.9.



Obr. 67 - Schéma přípoje nosníku na průvlak

V místě styku působí vnitřní síly:

$$V_{z,Ed} = 45,35 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 44,14 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 13,11 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 8,99 \text{ kNm}$$

V posudku jsou použity stejné vzorce jako v předchozím posudku spoje.

Svarový přípoj nosníku k čelní desce

Navržený svar $a = 10 \text{ mm}$

Smykové napětí ve svaru na stojinách nosníku dle (2.23):

$$\tau_{\parallel,w} = \frac{0,09 \cdot 10^3}{2 \cdot 10 \cdot (300 - 2 \cdot 10,7)} = 0,016 \text{ MPa}$$

Napětí ve svarech kolmo na směr svarového housenky se stanoví pro moment setrvačnosti svarového obrazce I_w dle (2.34):

$$I_w = 68,757 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\perp,w} = \sigma_{\perp,w} = \frac{68,757 \cdot 10^6 \cdot (300 - 2 \cdot 10,7)/2}{68,757 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{2}} = 88,26 \text{ MPa}$$

Výsledné namáhání dle (2.35):

$$\sqrt{\sigma_{\perp,w}^2 + 3(\tau_{\perp,w}^2 + \tau_{\parallel,w}^2)} = \sqrt{88,26^2 + 3 \cdot (88,26^2 + 0,016^2)} = 176,52 \text{ MPa}$$

Posouzení dle (2.36) a (2.37)

$$176,52 \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,w} = 88,26 \text{ MPa} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

→ Svary na pásnici VYHOVÍ

Smykové napětí ve svarech na pásnicích nosníku dle (2.38) a (2.39):

$$\tau_{\parallel,f} = \frac{2,11 \cdot 10^3}{2 \cdot 10 \cdot ((150 + 2 \cdot 10) + (150 + 2 \cdot 10 - 7,1))} = 0,317 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp,f} = \sigma_{\perp,f} = \frac{0,13 \cdot 10^6 \cdot (300 + 2 \cdot 10)/2}{68,757 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{2}} = 101,376 \text{ MPa}$$

Výsledné namáhání dle (2.40):

$$\sqrt{\sigma_{\perp,f}^2 + 3(\tau_{\perp,f}^2 + \tau_{\parallel,f}^2)} = \sqrt{101,38^2 + 3 \cdot (101,38^2 + 0,32^2)} = 202,75 \text{ MPa}$$

Posouzení dle (2.36) a (2.41):

$$202,75 \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,w} = 101,38 \text{ MPa} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

→ Svary na stojině VYHOVÍ

Šroubovaný přípoj čelní desky k pásnici sloupu

Navržená čelní deska: 200 x 300 x 27 mm

Počet šroubů: 6

Za předpokladu, že se čelní deska otáčí jako tuhý celek kolem středu tlačené pásnice, bude moment od vnější síly v rovnováze s momenty od sil v jednotlivých šroubech. Za předpokladu pružného rozdělení sil ve šroubech jsou síly úměrné vzdálenosti od středu otáčení dle (2.42):

$$M_{y,Ed} = 2 \cdot \left(\frac{F_{1,Ed}}{0,493} (0,070^2 + 0,145^2 + 0,493^2) \right) = 0,674 F_{1,Ed}$$

Sílu v horní řadě šroubů vypočítáme dle (2.43):

$$F_{1,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{2,438} = \frac{61,61}{0,674} = 91,41 \text{ kN}$$

Vliv páčení dle (2.44):

$$t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{36,45 \cdot 20^2}{60}} = 26,83 \text{ mm} < t_p = 27 \text{ mm}$$

→ není nutno uvažovat vliv páčení

Stejným postupem získáme tahovou sílu od působení momentu $M_{z,Ed}$ dle (2.48).

$$M_{z,Ed} = 3 \cdot \left(\frac{F_{1,Ed}}{0,14} (0,06^2 + 0,14^2) \right) = 0,497 F_{1,Ed}$$

Sílu v levé řadě šroubů vypočítáme dle (2.49):

$$F_{t,z,1,Ed} = \frac{0,13}{0,497} = 0,261 \text{ kN}$$

Celková tahová síla ve šroubu dle (2.50):

$$F_{t,Ed} = \sqrt{F_{t,y,1,Ed}^2 + F_{t,z,1,Ed}^2} = \sqrt{91,41^2 + 0,26^2} = 91,41 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v tahu dle (2.51):

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_S}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 245}{1,25} = 176,4 \text{ kN} > 91,41 \text{ kN}$$

→ Šrouby VYHOVÍ na tah

Vzhledem k velmi malým posouvajícím silám můžeme říct, že šrouby na střih jistě vyhoví.

Návrhová únosnost v otlacení desky je pak ještě vyšší, a proto také jistě vyhoví.

Kombinaci střihu a tahu můžeme tedy zanedbat, posouzení šroubů na tah je dostačující.

2.5.3 Kloubový přípoj nosníků

Přípoj je navržen jako spoj nosníku deskou na stojině se dvěma šrouby. Šrouby M20 jsou nepředepnuté z materiálu 10.9.

V místě styku působí vnitřní síly:

$$N = 18,63 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 8,61 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 3,72 \text{ kN}$$

Výsledná síla ve šroubu se určí sečtením sil, které působí smykem a tahové síly.

$$F_{v,Ed} = \sqrt{\left(\frac{N}{2}\right)^2 + \left(\frac{V_z}{2}\right)^2 + \left(\frac{V_y}{2}\right)^2} = \sqrt{9,32^2 + 4,31^2 + 1,86^2} \quad (2.63)$$

$$= 10,43 \text{ kN}$$

Střih:

Návrhová únosnost jednoho šroubu ve střihu se určí:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 1000 \cdot 245}{1,25} = 117,6 \text{ kN}$$

U návrhové únosnosti jednoho šroubu v otlacení se musí vybrat menší hodnota z otlacení styčnickového plechu nebo otlacení stěny připojovaného nosníku. Rozteče šroubů jsou shodné, proto rozhodne menší tloušťka prvku stěny připojovaného nosníku.

Pro otlacení stěny nosníku platí podle (2.54):

$$k_1 = \min \left[\begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \frac{40}{22} = 3,39 \end{array} \right] = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left[\begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{1000}{360} = 2,78 \\ \frac{40}{3 \cdot 22} = 0,606 \\ \frac{70}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0,811 \end{array} \right] = 0,606$$

Únosnost se vypočítá dle (2.58)

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,606 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 4,4}{1,25} = 38,40 \text{ kN}$$

Pro posouzení na střih rozhoduje nejmenší z těchto hodnot, což je únosnost v otlacení stěny nosníku.

$$F_{v,Ed} = 10,43 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 38,4 \text{ kN}$$

Vytržení skupiny šroubů z nosníku

Hodnota odolnost proti skupinovému střihovému porušení se stanoví pomocí oslabených ploch přenášející tahovou sílu a smykovou sílu

$$V_{eff,Rd} = \frac{0,5 f_{ub} A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_{yb} A_{nv}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 360 \cdot 770}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{235 \cdot 290}{1,0} \quad (2.64)$$

$$= 150,23 \text{ kN} > 10,43 \text{ kN}$$

→ Stěna nosníku ve smyku VYHOVÍ

Vytržení skupiny šroubů z plechu

Stejným postupem dle (2.60) vypočítáme odolnost proti skupinovému porušení z plechu.

$$V_{eff,Rd} = \frac{0,5 \cdot 360 \cdot 338,8}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{235 \cdot 215,6}{1,0} = 78,04 \text{ kN} > 10,43 \text{ kN}$$

→ Plech ve smyku VYHOVÍ.

Pevnost plechu za působení osově síly i ohybových momentů posoudíme dle (2.25):

$$\sigma = \frac{18,63 \cdot 10^3}{600} + \frac{3,87 \cdot 10^6}{8,53 \cdot 10^5} + \frac{1,67 \cdot 10^6}{0,13 \cdot 10^5} = 0,45 + 12,56 + 31,05 = 44,06 < 235$$

→ VYHOVÍ

3 Seismicita

3.1 Návrh konstrukce v seizmicky aktivním území

K navrhování staveb, které se nachází v aktivním seizmických oblastech, slouží norma EN 1998. Účelem této normy je zajistit, aby byly uchráněny lidské životy, popřípadě omezeny škody v budovách s malými ekonomickými nebo sociálními následky. Měla by také zajistit schopnost provozu konstrukcí pro ochranu obyvatel. Podle spolehlivosti se konstrukce třídí do tříd významu, přičemž každé třídě odpovídá součinitel významu. Konstrukce by měla mít co nejjednodušší a nejpravidelnější tvar v půdorysu i po výšce.

Jelikož je ale zemětřesení náhodný jev, nemohou být výše zmíněné požadavky splněny zcela a jistě, ale pouze s určitou pravděpodobností. Míra pravděpodobnosti této ochrany je proto různá pro určité druhy staveb a různá v každé zemi, přičemž záleží na intenzitě seizmického ohrožení.

3.2 Požadavky na konstrukce

Konstrukce, která se nachází v seizmické oblasti, musí být navržena a provedena se splněním následujících požadavků, které se váží na posouzení na mezní stavy.

3.2.1 Požadavek vyloučení zřícení

Konstrukce musí být navržena a provedena tak, aby odolala návrhové hodnotě seizmického zatížení. Nesmí dojít ke zřícení konstrukce nebo její části a musí být zajištěna konstrukční celistvost a zbytková únosnost i po zemětřesení. Tato návrhová hodnota seizmického zatížení se vyjadřuje pomocí referenčního seizmického zatížení a referenční pravděpodobnosti překročení za dobu 50 let.

3.2.2 Požadavek omezeného poškození

Konstrukce musí být navržena a provedena tak, aby odolala seizmickému zatížení o vyšší pravděpodobnosti, než je návrhová hodnota seizmického zatížení, přičemž nesmí dojít ke škodám nebo s nimi spojených omezení provozu. Seizmické zatížení pro tento požadavek má pravděpodobnost překročení za dobu 10 let. Pokud nejsou k dispozici přesnější informace pro posouzení, můžeme použít návrhovou hodnotu seizmického zatížení redukovanou součinitelem.

3.2.3 Mezní stav únosnosti

Mezní stavy únosnosti se spojují se zřícením nebo porušením konstrukce, které může ohrozit bezpečnost lidí. Musí být prokázáno, že nosný systém má odolnost a kapacitu disipovat energii. Vztah mezi těmito dvěma veličinami se projeví velikostí součinitele duktility. Musí se provést také posouzení, že konstrukce je stabilní, přičemž musíme uvážit stabilitu proti převržení i proti usmýknutí. Odolávat účinkům seizmického zatížení bez významných deformací musí také základová konstrukce a základová půda.

3.2.4 Mezní stav omezeného poškození

Mezní stavy omezeného poškození se váží na poškození, která znemožňují další používání stavby, pro který byla navržena. Musí být dodrženy mezní hodnoty deformací, případně jiných veličin.

3.3 Základové podmínky a seismické zatížení

Aby se mohly základové podmínky klasifikovat podle tabulky 9, je potřeba odpovídajícího průzkumu v závislosti na typu základové půdy.

3.3.1 Typy základových půd

Typy jsou popsány stratigrafickými profily a parametry v tabulce 9 a používají se k vyjádření vlivu místních základových poměrů na seismické zatížení.

Tabulka 9 - Typy základových půd [4]

Typ	Popis stratigrafického profilu	Parametry		
		$v_{s,30}$ [m/s]	N_{SPT} [počet úderů/30 cm]	c_u [kPa]
A	Skalní horninový masiv nebo geologická formace typu skalních hornin při nadloží z měkčího materiálu v maximální mocnosti do 5 m	> 800	-	-
B	Sedimenty velmi uhlého písku, štěrk nebo velmi tuhý jíl v tloušťce alespoň několik desítek metrů, s mechanickými vlastnostmi rostoucími s hloubkou	360-800	> 50	> 250
C	Mocné sedimenty středně uhlého nebo uhlého písku, štěrk nebo tuhý jíl v tloušťce od několika desítek do stovek metrů	180-360	15-50	70-250
D	Sedimenty z kyprých až středně uhlých nesoudržných zemin (případně s nebo bez vrstev soudržných zemin) nebo převážně měkkých až pevných soudržných zemin	< 180	< 15	< 70
E	Profil sestávající z povrchových aluviálních vrstev s hodnotami v_s podle typu C nebo D, o mocnosti 5 až 20 m, na tužším podkladě s $v_s > 800$ m/s			
S_1	Sedimenty sestávající z jílu nebo siltů s číslem plasticity $PI > 40$ s velkým obsahem vody, nebo sedimenty, obsahující uvedené zeminy, o mocnosti nejméně 10 m	< 100 (informativně)	-	10-20
S_2	Sedimenty ze zemin náchylných ke ztekucení, z citlivých jílu, jiné zeminy nezahrnuté v typech A – E, případně S_1			

3.3.2 Seismické zatížení

Území státu je rozděleno na seismické oblasti podle stupně ohrožení, přičemž ohrožení uvnitř oblasti se považuje za konstantní. Ohrožení je ve většině případů popsáno hodnotou referenčního zrychlení základové půdy a_{gr} , kterou můžeme vyhledat v mapě seismických oblastí. Mapa seismických oblastí je znázorněna na obr. 68 na následující straně.



Obr. 68 - Mapa seizmických oblastí České republiky [4]

3.3.2.1 Návrhové zrychlení

Referenční špičkové zrychlení podloží odpovídá referenční době návratu T_{NCR} seizmického zatížení nebo referenční pravděpodobnosti překročení za dobu 50 let P_{NCR} . Této době návratu je určen součinitel významu roven 1,0. Pro jiné doby návratu je návrhové zrychlení a_g rovno součinu referenčního špičkového zrychlení podloží a_{gr} a součinitele významu γ , který vyjadřuje pravděpodobnost návratu seizmického zatížení a je různý podle třídy významu stavby.

$$a_g = a_{gr} \cdot \gamma \quad (3.1)$$

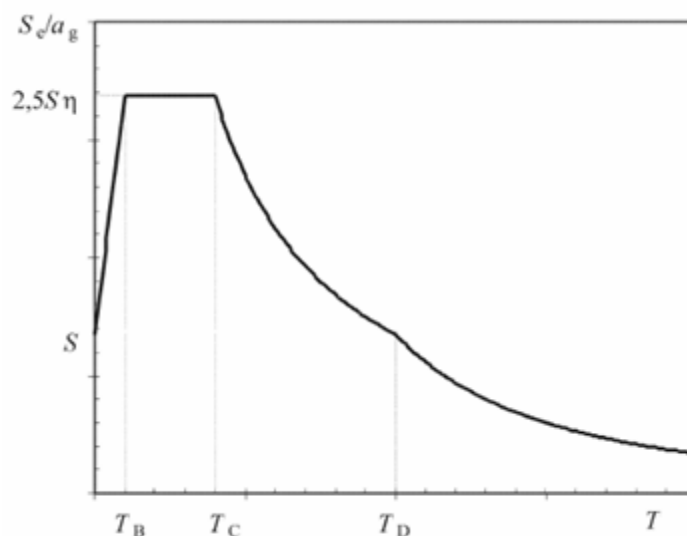
Do jaké třídy významu zařadit danou pozemní stavbu lze najít v tabulce 10. Doporučené hodnoty součinitele významu pro třídy významu I, II, III a IV jsou 0,8; 1,0; 1,2; 1,4.

Tabulka 10 - Třídy významu pozemních staveb [4]

Třída významu	Pozemní stavby
I	Pozemní stavby s menším významem pro veřejnou bezpečnost, např. zemědělské stavby atd.
II	Obvyklé pozemní stavby, nepatřící do ostatních kategorií.
III	Pozemní stavby, jejichž seizmická odolnost je důležitá z hlediska následků spojených s jejich zřícením, např. školy, společenské haly, kulturní instituce, atd.
IV	Pozemní stavby, jejichž neporušenost během zemětřesení je životně důležitá pro ochranu občanů, např. nemocnice, hasičské stanice, elektrárny, atd.

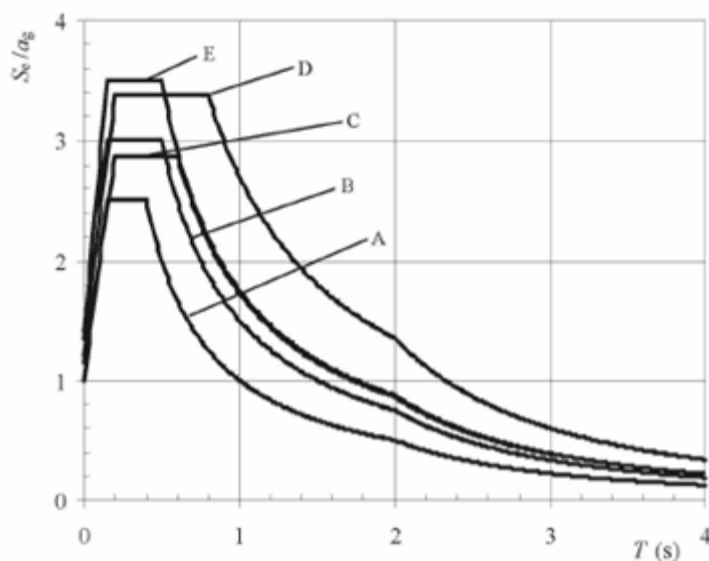
3.3.2.1.1 Vyjádření seismického zatížení

Podle EN 1998 je pohyb při zemětřesení v daném místě udán spektrem pružné odezvy na zrychlení podloží. Tvar spektra se uvažuje stejný jak pro požadavek zřícení, tak pro požadavek omezeného poškození.



Obr. 69 - Tvar spektra pružné odezvy [4]

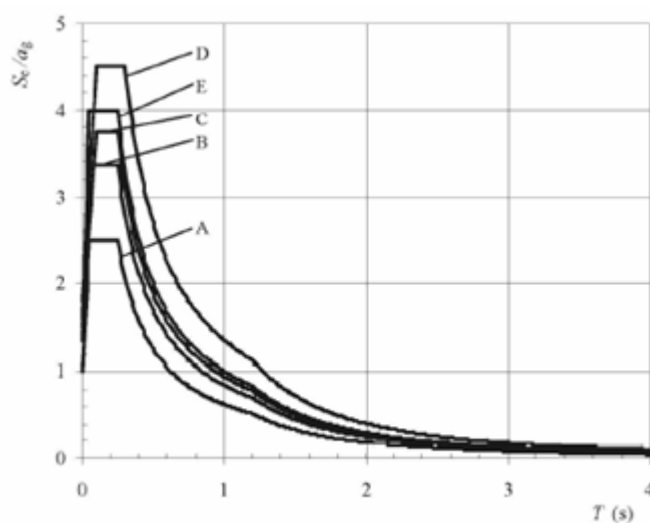
Při výběru vhodného tvaru spektra je potřeba uvážit magnitudo zemětřesení, které se nejvíce podílí na seismickém riziku. Podle toho použijeme spektrum typu 1 nebo typu 2. Doby kmitů T_B , T_C , T_D a součinitel podloží S , popisující tvar spektra pružné odezvy, závisí na typu základové půdy a jsou dále uvedeny v tab 11 a 12.



Obr. 70 - Tvar spektra pružné odezvy typu 1 pro půdy třídy A až E (5% tlumení) [4]

Tabulka 11 - Hodnoty parametrů popisující spektrum pružné odezvy typu 1 [4]

Typ základové půdy	S	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0



Obr. 71 - Tvar spektra pružné odezvy typu 2 pro půdy A až E (5% tlumení) [4]

Tabulka 12 - Hodnoty parametrů popisující spektrum pružné odezvy typu 2 [4]

Typ základové půdy	S	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2

Parametry, které popisují tabulky 11 a 12:

- S součinitel podloží
- T_B nejmenší perioda kmitu, které přísluší konstantní hodnota spektra pružného zrychlení
- T_C největší perioda kmitu, které přísluší konstantní hodnota spektra pružného zrychlení
- T_D doba kmitu, při nichž začíná obor konstantní hodnoty spektra pružného posunu

3.3.2.2 Návrhové spektrum pro výpočet v pružné oblasti

Konstrukce je schopná odolávat zatížení přechodem do nelineární oblasti. Abychom ale nemuseli provádět nelineární výpočet konstrukce, zohledňuje se disipační schopnost, která je dána plastickým chováním prvků konstrukce. Provede se tak lineární výpočet, využívající spektra odezvy, které je redukováno zavedením součinitele duktility q a označováno jako návrhové spektrum $S_d(T)$. Součinitel duktility představuje přibližně poměr seizmických sil, kterým by konstrukce musela odolávat ve stavu dokonale pružném při útlumu 5 % k seizmickým silám.

Návrhové spektrum pro vodorovné složky seizmického zatížení $S_d(T)$ je definováno:

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (3.2)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (3.3)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \geq \beta \cdot a_g \quad (3.4)$$

$$T_D \leq T: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \geq \beta \cdot a_g \quad (3.5)$$

Hodnota součinitele β je uvedena v národní příloze a doporučená hodnota je 0,2

3.3.2.3 Kombinace seizmického zatížení

S ohledem na přítomnost hmot spolupůsobící s vlastní tíhou je potřeba zavést kombinaci seizmického zatížení s jinými zatíženími. Kombinace se získá vztahem:

$$\Sigma G_{k,j} + \Sigma \Psi_{E,i} \cdot Q_{k,j} \quad (3.6)$$

Součinitel kombinace $\Psi_{E,j}$ pro j -té proměnné zatížení zohledňuje pravděpodobnost, že se proměnná zatížení nevyskytují během zemětřesení na celé konstrukci. Tento součinitel je dán vztahem:

$$\Psi_{E,i} = \varphi \cdot \Psi_{2,i} \quad (3.7)$$

Přičemž součinitel kombinace pro pozemní stavby je uveden v EN 1990:2000 v příloze A1 a je zde uveden v tabulce 13 a hodnoty φ lze najít v tabulce 14.

Tabulka 13 - Doporučené hodnoty součinitele ψ pro pozemní stavby [1]

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kategorie užitných zatížení pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-1)			
Kategorie A: obytné plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: kancelářské plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: obchodní plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: skladovací plochy	1,0	0,9	0,8
Kategorie F: dopravní plochy tíha vozidla ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: dopravní plochy $30 \text{ kN} < \text{tíha vozidla} \leq 160 \text{ kN}$	0,7	0,5	0,3
Kategorie H: střechy	0	0	0
Zatížení sněhem (viz EN 1991-1-3) ^{*)}			
Finsko, Island, Norsko, Švédsko	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H > 1\,000$ m n.m.	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H \leq 1\,000$ m n.m.	0,5	0,2	0
Zatížení větrem (viz EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Teplota (ne od požáru) pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
POZNÁMKA Hodnoty ψ mohou být stanoveny v národní příloze. ^{*)} Pro země, které zde nejsou uvedené, se součinitele ψ stanoví podle místních podmínek.			

Tabulka 14 - Hodnoty ϕ pro výpočet $\psi_{E,i}$ [4]

Druh proměnného zatížení	Podloží	ϕ
Kategorie A- C*	Střecha	1
	Podlaží se vzájemně závislým zatížením	0,8
	Podlaží se vzájemně nezávislým zatížením	0,5
Kategorie D- F* a archivy		1

3.4 Metody výpočtu

Výpočty jsou založeny na předpokladu lineárně pružného chování materiálu. Pokud jsou splněny podmínky pravidelnosti půdorysu, může být použito dvou rovinných modelů ve dvou hlavních směrech.

3.4.1 Metoda příčných sil

Jedná se o nejjednodušší metodu, jejíž použití je omezeno na stavební konstrukce, jejichž odezva v obou hlavních směrech není výrazně ovlivněna tvary kmitání vyššími než základní tvar. Tato podmínka je splněna, pokud je konstrukce pravidelná po výšce a základní perioda vlastních kmitů ve dvou hlavních směrech splňuje podmínky:

$$T_1 \leq \frac{4 \cdot T_c}{2s} \quad (3.8)$$

Jestliže budeme základní tvar kmitání přibližně uvažovat jako lineárně rostoucí po výšce budovy, pak se vodorovné síly v jednotlivých podlažích stanoví podle:

$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_j \cdot m_j} \quad (3.12)$$

z_i, z_j jsou výšky hmot m_i, m_j nad základovou spárou

3.4.2 Modální analýza pomocí spektra odezvy

Tato metoda musí být použita pokud konstrukce nevyhovuje podmínce podle (3.8) pro použití metody příčných sil a není pravidelná po výšce. Musí být uvažovány všechny tvary kmitání, které odezvu výrazně ovlivňují.

3.4.3 Nelineární metody

Model použitý k pružnému výpočtu musí zahrnovat také pevnost nosných prvků a jejich chování za mezí kluzu. Využívá se metody postupného přetěžování a nelineárního výpočtu časového průběhu.

3.5 Kombinace účinků složek seismického zatížení

Vodorovné složky seismického zatížení musí být považovány za současně působící. Tato kombinace může být počítána tak, že odezva konstrukce od každé složky musí být počítána odděleně za použití pravidel kombinace pro modální odezvu. Maximální hodnota účinku každého zatížení od dvou vodorovných složek může být vypočtena jako odmocnina ze součtu kvadrátů hodnot účinků zatížení od jednotlivých vodorovných složek, což dává bezpečné hodnoty účinků ostatních zatížení, které působí současně.

Druhou možností může být, že účinek kombinace zatížení vodorovných složek seismického zatížení se počítá pomocí následujících vztahů:

$$E_{Edx} "+" 0,3 E_{Edy} \quad (3.13)$$

$$0,3 E_{Edx} "+" E_{Edy} \quad (3.14)$$

kde E_{Edx} představuje účinek od seismického zatížení ve směru osy x a E_{Edy} v ose y

Svislá složka seismického zatížení se má zahrnout do výpočtu pokud je zrychlení a_{vg} větší než 0,25g a pokud vodorovné prvky mají větší rozpětí než 20 m, konzoly jsou delší než 5 m, konstrukce obsahuje předpjaté prvky, nosníky podporující sloupy nebo je seismicky izolována v základu.

4 Aplikace metody příčných sil na posuzovanou konstrukci

4.1 Návrhové zrychlení

Pro posuzovanou konstrukci uvažuji, že se nachází v okrese Ostrava-město. Odpovídající velikost referenčního špičkového zrychlení podloží:

$$a_{gR} = 0,1 \cdot g = 0,1 \cdot 9,81 = 0,981 \text{ m/s}^2 \quad (4.1)$$

Konstrukce se řadí do třídy významu II, což odpovídá obvyklým pozemním stavbám, na které není kladen zvýšený požadavek na seizmickou odolnost. Součinitel γ se vyhledá v tabulce 10. Návrhové zrychlení se poté vypočítá dle (3.1):

$$\gamma = 1,0$$

$$a_g = 0,981 \cdot 1,0 = 0,981 \text{ m/s}^2$$

4.2 Návrhové spektrum odezvy

Pro stavby v okresech Břeclav, Frýdek-Místek, Hodonín, Karviná, Kroměříž, Nový Jičín, Opava, Ostrava-město, Přerov, Vsetín, Uherské Hradiště a Zlín se pro výpočet vodorovného seizmického zatížení použije spektrum pružné odezvy typu 1. Odpovídající hodnoty parametrů jsou v tabulce 11.

Pro posuzovanou konstrukci, která se nachází na základové půdě typu D, pak platí tyto hodnoty parametrů: $S = 1,35$

$$T_B = 0,2 \text{ s}$$

$$T_C = 0,8 \text{ s}$$

$$T_D = 2 \text{ s}$$

4.3 Kombinace hmot

K získání základní periody vlastních kmitů bylo využito modální analýzy v programu SCIA Engineer. Pro zadání spolupůsobení jednotlivých hmot s vlastní tíhou bylo využito kombinace vyjádřené v (3.6), pro kterou je potřeba zjistit hodnotu součinitele kombinace.

Pro výpočet součinitele kombinace se v tabulce 13 vyhledá odpovídající hodnota $\Psi_{2,i}$ pro kategorii pozemních staveb E a v tabulce 14 se dále odečte hodnota φ pro kategorii D-F a archivy.

$$\varphi = 1,0 \quad \text{Kategorie D-F a archivy}$$

$$\Psi_{2,i} = 0,8 \quad \text{Kategorie E – skladovací plochy}$$

Součinitel kombinace se vypočítá dle (3.7).

$$\Psi_{E,i} = 1,0 \cdot 0,8 = 0,8$$

Poté se kombinace může vyjádřit dle (3.6) jako:

$$\sum G_{k,j} + \sum 0,8 \cdot Q_{k,j}$$

Po provedení modální analýzy lze z tabulky 15 vyčíst základní periodu vlastních kmitů T_1 .

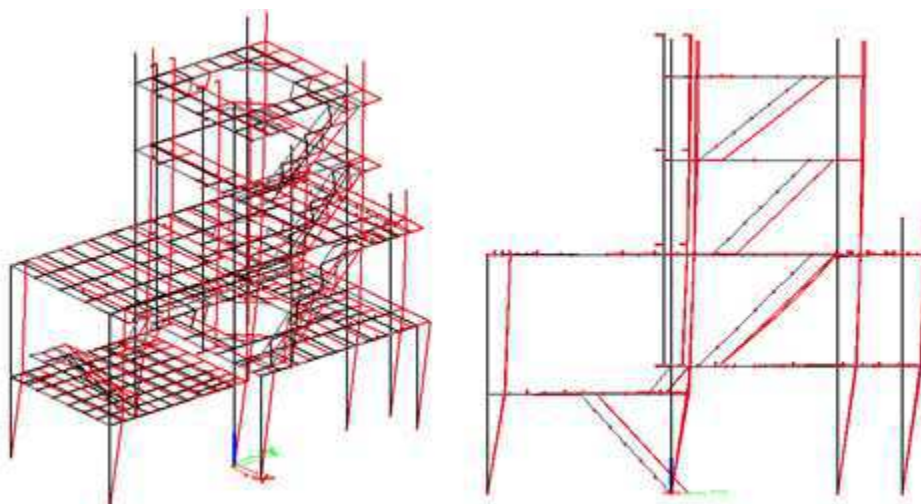
Tabulka 15 - Výsledky modální analýzy z programu SCIA Engineer

Režim	Omega [rad/s]	Perioda [s]	Frekv. [Hz]	Wxi / Wxtot	Wyi / Wytot	Wzi / Wztot	Wxi_R / Wxtot_R	Wyi_R / Wytot_R	Wzi_R / Wztot_R
1	10.9744	0.5725	1.7466	0.0003	0.9848	0.0000	0.0056	0.0000	0.0001
2	12.3966	0.5068	1.9730	0.8248	0.0001	0.0000	0.0000	0.0698	0.1245
3	14.8199	0.4240	2.3587	0.1077	0.0004	0.0000	0.0000	0.0289	0.8184
4	24.6876	0.2545	3.9292	0.0366	0.0003	0.0002	0.0043	0.2329	0.0181
5	28.0733	0.2238	4.4680	0.0002	0.0000	0.0000	0.0001	0.0100	0.0000
6	30.2987	0.2074	4.8222	0.0001	0.0103	0.0017	0.3807	0.0056	0.0022
7	35.4109	0.1774	5.6358	0.0006	0.0001	0.0002	0.0148	0.0000	0.0020
8	37.5390	0.1674	5.9745	0.0040	0.0000	0.0008	0.0035	0.0747	0.0003
9	40.9899	0.1533	6.5237	0.0019	0.0001	0.0011	0.0010	0.0368	0.0111
10	44.0039	0.1428	7.0034	0.0055	0.0002	0.0025	0.0002	0.1514	0.0046
				0.9816	0.9964	0.0066	0.4102	0.6102	0.9812

4.4 Výpočet ve směru osy Y

4.4.1 Základní perioda vlastních kmitů

První vlastní tvar konstrukce odpovídá deformaci konstrukce ve směru osy y.



Obr. 72 - První vlastní tvar konstrukce (vlevo – axonometrický pohled; vpravo – pohled proti směru osy X)

Periodu vlastních kmitů pro první vlastní tvar odečteme z tabulky 15.

$$T_1 = 0,5725 \text{ s}$$

Pro porovnání můžeme základní periodu porovnat s přibližnou hodnotou, která se může použít pro stavby do výšky 40 m a vypočítá se podle (3.9).

$$C_t = 0,085 \quad \text{jedná se o ocelovou konstrukci}$$

$$H = 15 \text{ m} \quad \text{výška konstrukce}$$

$$T_{1,pribl} = 0,085 \cdot 15^{3/4} = 0,6479$$

Hodnoty nejsou zcela shodné, nicméně se perioda získaná přibližnou metodou blíží vypočtené hodnotě a mohli bychom ji použít v dalším výpočtu. Výsledky by byly stejné.

Konstrukce je po výšce pravidelná a jsou splněny následující podmínky dle (3.8):

$$0,5725 \leq \frac{4 \cdot 0,8}{2s} = 3,2$$

Může se proto použít metoda příčných sil.

4.4.2 Smyková síla

Smyková síla v základu pro směr osy y se vyjádří podle vztahu (3.10). Nejprve se ale musí definovat návrhové spektrum pro vodorovné složky seizmického zatížení. Jelikož platí následující podmínka,

$$T_B \leq T \leq T_C$$

$$0,2 \leq 0,5725 \leq 0,8$$

vypočítá se návrhové spektrum podle (3.3).

$S = 1,35$ parametr popisující spektrum pružné odezvy

$q = 1,5$ součinitel duktility

$$S_d(T) = 0,981 \cdot 1,35 \cdot \frac{2,5}{1,5} = 2,428$$

$m = 127\,657\,kg$ celková hmotnost stavby

$\lambda = 0,85$ opravný součinitel, platí podmínka $T_1 \leq 2T_C$ a jedná se o stavbu o více než o 2 patrech

Nyní se může vyjádřit seizmická smyková síla F_b v základu:

$$F_b = 2,428 \cdot 127657 \cdot 0,85 = 263,456\,kN$$

4.4.3 Rozdělení smykové síly

Tato smyková síla v základu je třeba rozdělit do vodorovných sil působících v každém patře pomocí posunu a hmoty odpovídajícího patra podle (3.11). Hmotnosti pater jsou znázorněny v tabulce 16. Posuny pater se odečtou z deformované konstrukce z programu SCIA Engineer a definovány jsou v tabulce 17.

Tabulka 16 - Hmotnosti pater

$m_1 =$	18105	kg
$m_2 =$	23725	kg
$m_3 =$	53439	kg
$m_4 =$	6999,7	kg
$m_5 =$	25389	kg

Tabulka 17 - Posuny pater ve směru osy Y

$s_{1,y} =$	4,6
$s_{2,y} =$	4,9
$s_{3,y} =$	5,7
$s_{4,y} =$	6
$s_{5,y} =$	6,1

$$\sum s_j \cdot m_j = 701\,005$$

Vodorovná síla ve směru osy y působící v první patře lze vypočítat dle (3.11)

$$F_{1,y} = 263,456 \cdot \frac{4,6 \cdot 18105}{701005} = 31,30 \text{ kN}$$

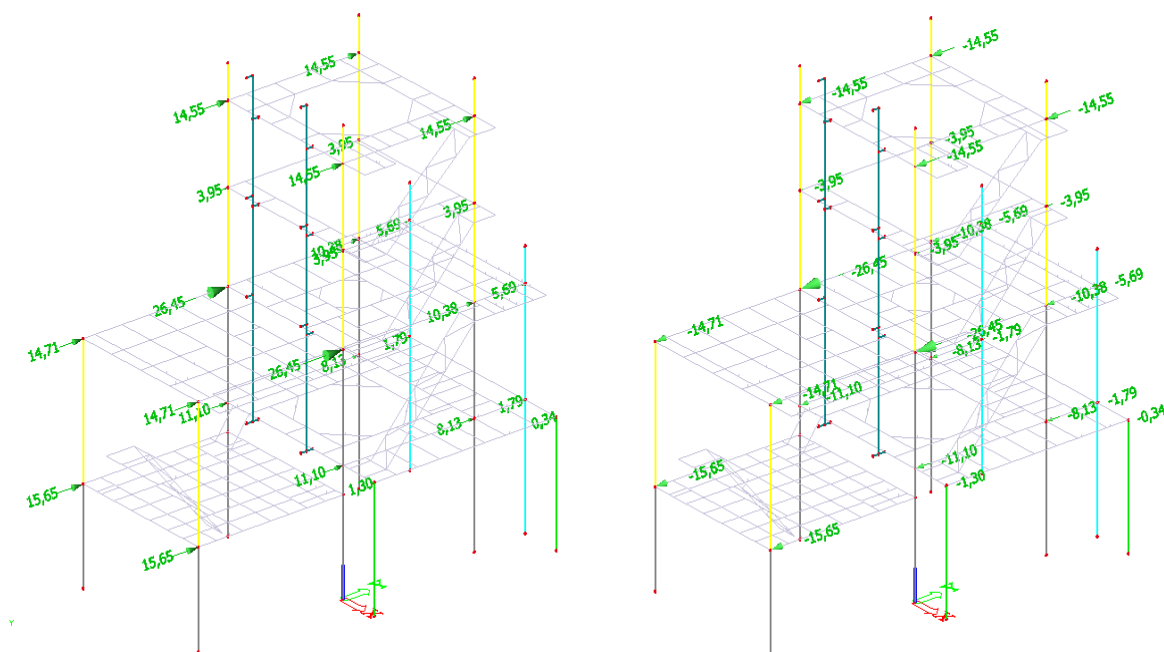
Stejným postupem se stanoví vodorovné síly ve směru osy y ve všech patrech. Všechny síly jsou znázorněny v následující tabulce 18.

Tabulka 18 - Vodorovné síly od účinků seismického zatížení ve směru osy Y

$F_{1,y} =$	31,30	kN
$F_{2,y} =$	43,69	kN
$F_{3,y} =$	114,48	kN
$F_{4,y} =$	15,78	kN
$F_{5,y} =$	58,21	kN

Síly v jednotlivých patrech se pak příslušně rozdělí podle normálových sil ve sloupech, které se získaly z kombinace obsahující zatěžovací stavy veškerého stálého a užitého zatížení bez účinku seismických sil. Vzniknou tak dva zatěžovací stavy od seismických sil ve směru osy y.

4.4.4 Zatěžovací stavy od seismicity ve směru osy Y

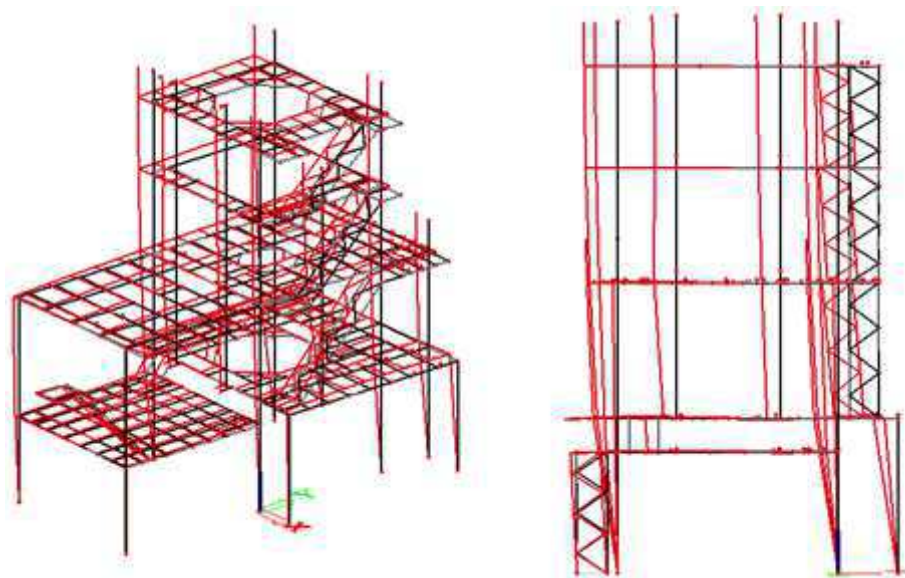


Obr. 73 - Zatížení od účinků seismicity ve směru osy Y (vlevo - Y +; vpravo - Y -)

4.5 Výpočet ve směru osy X

4.5.1 Základní perioda vlastních kmitů

Stejným postupem se postupuje ve stanovení vodorovných sil ve směru osy x. Odlišným vstupem je perioda základního tvaru. V tomto případě se odečte z tabulky 15 hodnota pro druhý vlastní tvar, kdy konstrukce kmitá ve směru osy x.



Obr. 74 - Druhý vlastní tvar konstrukce (vlevo – axonometrický pohled; vpravo – pohled proti směru osy Y)

$$T_2 = 0,5068 \text{ s}$$

4.5.2 Rozdělení smykové síly

Jelikož se konstrukce deformuje ve směru osy y a x ve dvou po sobě jdoucích vlastních tvarech, je hodnota základní periody kmitů podobná a pro vyjádření návrhového spektra tedy platí stejné kritérium, tudíž má stejnou hodnotu a smyková síla v základu je taktéž shodná. Lišit se budou výchylky konstrukce ve směru osy x.

Tabulka 19 - Hmotnosti pater

$m_1 =$	18105	kg
$m_2 =$	23725	kg
$m_3 =$	53439	kg
$m_4 =$	6999,7	kg
$m_5 =$	25389	kg

Tabulka 20 - Posuny pater
ve směru osy X

$s_{1,x} =$	3,6
$s_{2,x} =$	4,1
$s_{3,x} =$	5,6
$s_{4,x} =$	6,4
$s_{5,x} =$	6,8

$$\sum s_j \cdot m_j = 679\,149$$

Vodorovná síla ve směru osy x působící v první patře lze vypočítat dle (3.11) takto:

$$F_{1,x} = 263,456 \cdot \frac{3,6 \cdot 18105}{679149} = 25,28 \text{ kN}$$

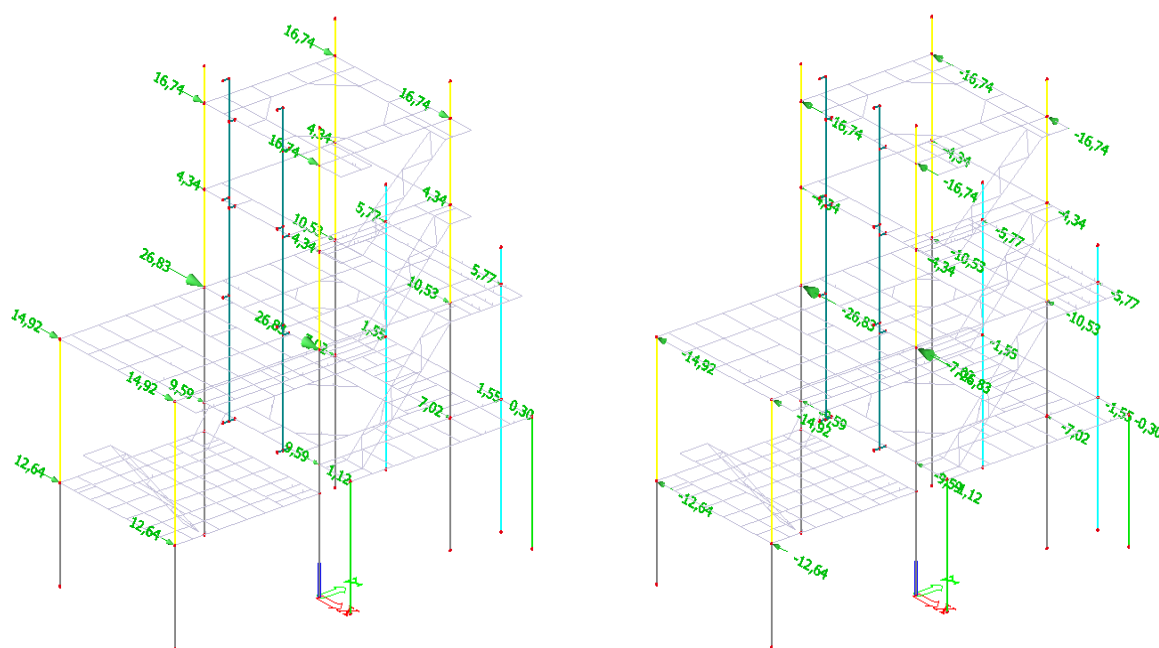
Stejným postupem se stanoví vodorovné síly ve směru osy x ve všech patrech. Všechny síly jsou znázorněny v následující tabulce 21.

Tabulka 21 - Vodorovné síly od účinků seismicity ve směru osy X

$F_{1x} =$	25,28	kN
$F_{2x} =$	37,73	kN
$F_{3x} =$	116,09	kN
$F_{4x} =$	17,38	kN
$F_{5x} =$	66,97	kN

Síly se opět příslušně rozdělí podle normálových sil ve sloupech. Získají se tak dva zatěžovací stavy od seismických sil ve směru osy x.

4.5.3 Zatěžovací stavy od seismicity ve směru osy X



Obr. 75 - Zatížení od účinků seismicity ve směru osy X (vlevo - X +; vpravo - X -)

4.6 Kombinace zatížení

Podle podkapitoly 4.3 a vztahů (3.13) a (3.14), vyjadřující účinek kombinace zatížení vodorovných složek seismického zatížení, se může pro výpočet vnitřních sil a posouzení vytvořit tyto kombinace zatížení:

$$E_{x+} + 0,3 \cdot E_{y+} + G + 0,8 \cdot Q$$

$$E_{x+} + 0,3 \cdot E_{y-} + G + 0,8 \cdot Q$$

$$E_{x-} + 0,3 \cdot E_{y+} + G + 0,8 \cdot Q$$

$$E_{x-} + 0,3 \cdot E_{y-} + G + 0,8 \cdot Q$$

$$0,3 \cdot E_{x+} + E_{y+} + G + 0,8 \cdot Q$$

$$0,3 \cdot E_{x+} + E_{y-} + G + 0,8 \cdot Q$$

$$0,3 \cdot E_{x-} + E_{y+} + G + 0,8 \cdot Q$$

$$0,3 \cdot E_{x-} + E_{y-} + G + 0,8 \cdot Q$$

Přičemž G představuje veškerá stálá zatížení a navíc zatížení od technologie.

$$G = \text{Vlastní tíha} + \text{Podlahy, rošty} + \text{Technologie}$$

Proměnné zatížení Q představuje užité zatížení jak jednotlivých plošin, tak všech schodišť.

$$Q = U_{\text{žitné}1} + U_{\text{žitné}2} + U_{\text{žitné}3} + U_{\text{žitné}4} + U_{\text{žitné}5} + U_{\text{žitné}6} + U_{\text{žitné}} \\ - \text{schodiště}1 + U_{\text{žitné}} - \text{schodiště}2 + U_{\text{žitné}} - \text{schodiště}3 + U_{\text{žitné}} \\ - \text{schodiště}4 + U_{\text{žitné}} - \text{schodiště}5$$

4.7 Vyhodnocení

V následující tabulce je znázorněn rozdíl využití jednotlivých prvků bez seismického zatížení, kdy byly do výpočtu zavedeny jen imperfekce, a za působení vypočtených seismických sil. Žlutě jsou vyznačeny prvky, které jsou namáhány více při zatížení seismicitou.

Tabulka 22 - Srovnání využití průřezu prvků

	bez seismicity	se seismicitou
sloupy		
HEB 300	0,71	0,97
HEA 280	0,76	0,53
HEA 140	0,44	0,33
HEA 200	0,34	0,46
průvlaky		
IPE 360 + I var 250	0,45	0,73
IPE 300 + I var 250	0,61	0,58
IPE 300 + I var 180	0,32	0,37
IPE 240 + I var 180	0,36	0,25
nosníky		
IPE 300	0,65	0,38
IPE 240	0,85	0,84
IPE 200	0,73	0,56
IPE 120	0,82	0,61
schodiště		
UNP 200	0,47	0,74

Všechny prvky vyhoví i se zatížením od seismicity, nicméně průřez některých nosných prvků je daleko více využit.

U sloupů se zatížení seismicitou významněji projevilo u hlavních dolních sloupů průřezu HEB 300, kdy se dostáváme až na 97 % využití průřezu. Prvky vyhoví, nicméně využití vzrostlo o více než 25 %. Dalším sloupem, u kterého vzrostlo využití, jsou prvky průřezu HEA 200. I po zatížení seismicitou však nedosahuje využití průřezu ani 50 %. U obou těchto prvků rozhoduje velikost ohybového momentu M_z , který při zatížení seismicitou vzrostl přibližně o polovinu.

Z průvlaků se zatížení seismicitou nejvíce projevilo u prvků průřezu IPE 360 s náběhem. Více využity jsou všechny průvlaky tohoto typu, přičemž navýšení činí od 15 do 30 %. I přesto zde máme stále rezervu. V trvalé návrhové situaci obvykle rozhodovaly přísné požadavky investora na zajištění vodorovné tuhosti konstrukce a z hlediska mezního stavu únosnosti jsou tedy některé prvky málo využity. O 5 % se zatížení seismicitou projevilo také u průvlaku průřezu IPE 300 s náběhem. Ostatní průvlaky seismicitou v žádném směru neovlivnila.

U výplňových nosníků se zatížení seismicitou neprojevilo vůbec. Všechny prvky byly využity méně.

O 30 % navíc je využit schodišťový nosník průřezu UNP 200. Při zatížení seismicitou totiž vzrostla osová síla v prvku.

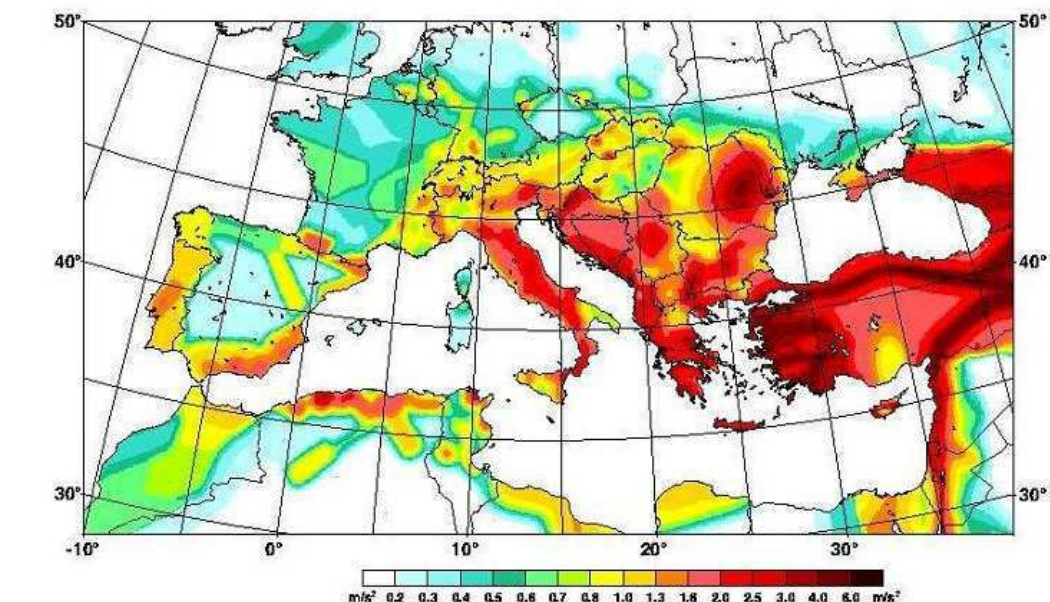
5 Studie

V návaznosti na výpočet seismického zatížení je provedena studie, která využívá postupu z kapitoly 4. Úkolem studie je vyhodnotit vliv seismického zatížení různé intenzity na návrh nosných prvků konstrukce. Intenzita seismického zatížení se bude zvyšovat podle tabulky 23 od hodnoty návrhového zrychlení základové půdy $a_{gR} = 0,10g$, která odpovídá místu návrhu konstrukce okresu Ostrava-město, po hodnotu $0,3g$.

Tabulka 23 - Návrhové zrychlení základové půdy různé intenzity

	a_{gR}	a_g
1	0,10 g	1,08 m/s ²
2	0,12 g	1,18 m/s ²
3	0,13 g	1,28 m/s ²
4	0,16 g	1,57 m/s ²
5	0,20 g	1,96 m/s ²
6	0,30 g	2,94 m/s ²

Zrychlení $0,12g$ odpovídá nejvyššímu zrychlení, které se vyskytuje v České republice v okrese Karviná. Zrychlení do $0,16g$ se může vyskytovat například na Slovensku. Se zrychlením nad $0,16g$ se můžeme setkat v Itálii. Nejvyšší uvedené zrychlení $0,3g$ je uvedeno jen pro ilustraci a odpovídá zrychlení na území Řecka nebo Turecka, kde ale nabývá dále i vyšších hodnot. Tyto hodnoty lze najít v mapě seismických oblastí pro Evropu.



Obr. 76 - Mapa seismických oblastí pro Evropu [<http://www.seismo.ethz.ch/static/GSHAP/>]

V tabulce 24 vidíme přehled, jak se zvyšovalo využití průřezu jednotlivých prvků se zvyšujícím se zrychlením základové půdy. Červeně jsou v tabulce vyznačeny prvky, u kterých byla překročena únosnost a museli bychom provést nový návrh průřezu. Mnohdy byla

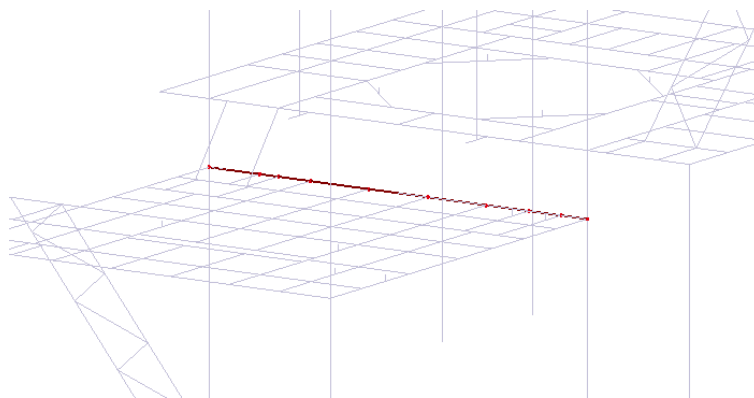
únosnost překročena pouze v jednom prvku ze skupiny průřezů, proto by mohl být nahrazen jiným a posudek by byl proveden znovu.

Tabulka 24 - Přehled využití průřezu prvků za různé intenzity zrychlení základové půdy

	0 g	0,10 g	0,12 g	0,13 g	0,16 g	0,2 g	0,3 g
Sloupy							
HEB 300	0,71	0,97	1,05	1,12	1,35	1,59	2,44
HEA 280	0,76	0,53	0,63	0,63	0,71	0,79	1,02
HEA 140	0,44	0,33	0,43	0,45	0,55	0,79	1,05
HEA 200	0,34	0,46	0,67	0,72	0,87	0,95	1,12
Průvlaky							
IPE 360 +náběh	0,45	0,73	0,79	0,85	1,04	1,32	2,81
IPE 300 + náběh	0,61	0,58	0,75	0,85	1,03	1,26	2,99
IPE 300 + náběh	0,32	0,37	0,4	0,5	0,54	0,66	1,03
IPE 240 + náběh	0,36	0,25	0,39	0,45	0,64	0,78	1,18
Nosníky							
IPE 300	0,65	0,38	0,4	0,4	0,41	0,46	0,63
IPE 240	0,85	0,84	0,97	1,04	1,26	1,81	2,25
IPE 200	0,73	0,56	0,73	0,78	0,95	1,15	1,75
IPE 120	0,82	0,4	0,55	0,57	0,64	0,71	0,93
Nosník schodiště							
UNP 200	0,47	0,74	0,8	0,87	1,07	1,2	1,98

Můžeme vidět, že za zrychlení 0,12g již nevyhoví sloup průřezu HEB 300. Se vzrůstajícími silami od seismicity vzrůstá také ohybový moment M_z , který je pro návrh těchto základních dolních sloupů rozhodující. Již za tohoto zrychlení vzrostou vodorovné síly v kotvení víc než 1,5x.

S dalším zrychlením dále nevyhoví průřez nosníku IPE 240. Zde se ale jedná pouze o jeden prvek, který je namáhán daleko více než ostatní prvky stejného průřezu. Nový návrh na větší průřez se tedy týká pouze tohoto jednoho prvku. Pokud vyměníme prvek za průřez IPE 300, bude namáhán s přibližně 60% využitím, což nám s rezervou vyhoví. Při vyšším zrychlení by se ale tento prvek opět vymykal svým využitím i mezi prvky průřezu IPE 300. Proto by bylo vhodné tento prvek úplně změnit. Jelikož probíhá přes celou délku dolní plošiny, vybízí se, abychom jej navrhli jako průvlak s náběhy.

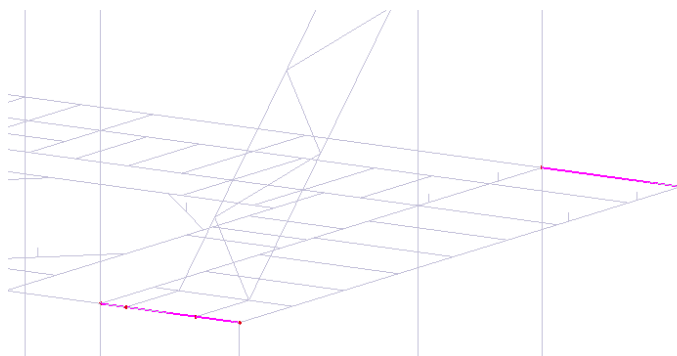


Obr. 77 - Vyznačený rozhodující prvek průřezu IPE 240

Při zrychlení základové půdy nad 0,16g pozorujeme, že dále nevyhoví hlavní průvlaky. K překročení nastává na okrajích průvlaku v oblasti, kde působí náběh.

Těsně nevyhoví ani schodišťový nosník průřezu UNP 200. Vznikají zde větší normálové síly a vlivem vzpěru a klopení se nám redukuje únosnost.

S následujícím zvýšením zrychlení nevyhoví průřez IPE 200, ale jedná se opět jen o dva prvky, které se vymykají.



Obr. 78 – Vyznačené rozhodující prvky průřezu IPE 200

Nakonec je uvedeno využití průřezů pro zrychlení 0,3g, při němž již nevyhoví skoro žádný prvek a museli bychom udělat kompletně nové návrhy průřezů nebo jiné konstrukční řešení. Zároveň by se vodorovné síly v kotvení zvýšily téměř na čtyřnásobek, což by vedlo k novému návrhu kotvení.

Ve studii byl konzervativně brán součinitel duktility s hodnotou 1,5. Jelikož se ale jedná o rámovou konstrukci, může se využít disipace energie v konstrukci a dle článku 6.3.2 z ČSN EN 1998-1 lze použít hodnotu součinitele duktility až $q = 4$. Aby se mohla tato hodnota použít, musí se dbát zvýšené pozornosti na spoje v rámových rozích. O únosnosti těchto spojů musí rozhodovat plastická únosnost čelní desky nebo pásnice sloupu a nikoliv tahová únosnost ve šroubech. Šroub zde představuje křehkou komponentu, při přetížení by došlo k jeho přetržení a žádné plastické deformaci. Nedocházelo by tak k přenosu energie mezi jednotlivými prvky a nemohli bychom tuto zvýšenou hodnotu součinitele duktility použít. Při jeho použití bude smyková síla v základu v závislosti na návrhovém spektru daleko nižší. Byla proto provedena druhá studie, která hodnotí vliv seizmického zatížení za použití vyššího součinitele duktility. Nakonec jsou výsledky obou studií porovnány a je vyjádřeno, jak součinitel duktility mění využití průřezu u jednotlivých prvků.

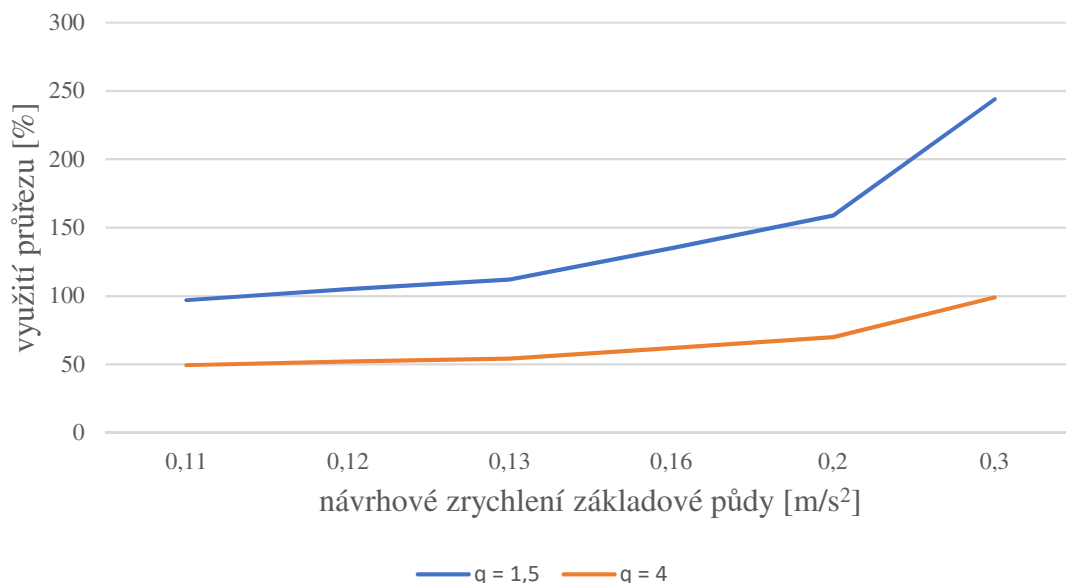
Tabulka 25 - Přehled využití průřezů s použitím součinitele ductility $q = 4$

	0 g	0,11 g	0,12 g	0,13 g	0,16 g	0,2 g	0,3 g
Sloupy							
HEB 300	0,71	0,50	0,52	0,54	0,62	0,70	0,99
HEA 280	0,76	0,45	0,48	0,49	0,51	0,53	0,59
HEA 140	0,44	0,26	0,28	0,28	0,30	0,35	0,40
HEA 200	0,34	0,17	0,28	0,31	0,39	0,43	0,52
Průvlaky							
IPE 360 + I var 250	0,45	0,26	0,28	0,29	0,33	0,40	0,75
IPE 300 + I var 250	0,61	0,31	0,34	0,35	0,37	0,40	0,62
IPE 300 + I var 180	0,32	0,17	0,18	0,21	0,22	0,26	0,38
IPE 240 + I var 180	0,36	0,07	0,10	0,12	0,17	0,20	0,30
Nosníky							
IPE 300	0,65	0,37	0,37	0,37	0,37	0,38	0,41
IPE 240	0,85	0,08	0,15	0,20	0,33	0,65	0,91
IPE 200	0,73	0,32	0,37	0,38	0,42	0,47	0,62
IPE 120	0,82	0,26	0,33	0,34	0,37	0,40	0,50
Nosník schodiště							
UNP 200	0,47	0,31	0,33	0,36	0,43	0,48	0,77

Můžeme vidět, že všechny prvky vyhoví i za návrhového zrychlení 0,3g, což je velký rozdíl oproti výsledkům z předchozí studie, kdy byl použit konzervativně součinitel ductility 1,5. Přibližně můžeme prohlásit, že nosné prvky konstrukce, která není zatížená seizmickými účinky, ale pouze imperfekcemi, by vyhověly i při působení seismicity za návrhového zrychlení základové půdy až 0,2g. Vodorovné síly v kotvení jsou taktéž shodné a nebylo by třeba dalších úprav.

Pro ilustraci je uvedeno porovnání využití sloupu průřezu HEB 300 při součiniteli ductility 1,5 a 4 v následujícím grafu. Je zřejmé, že již při návrhovém zrychlení 0,11g je při použití součinitele ductility 4 využití průřezu téměř 2x nižší než za snížené hodnoty součinitele. Při vyšších návrhových zrychleních se využití snížilo až 2,5x.

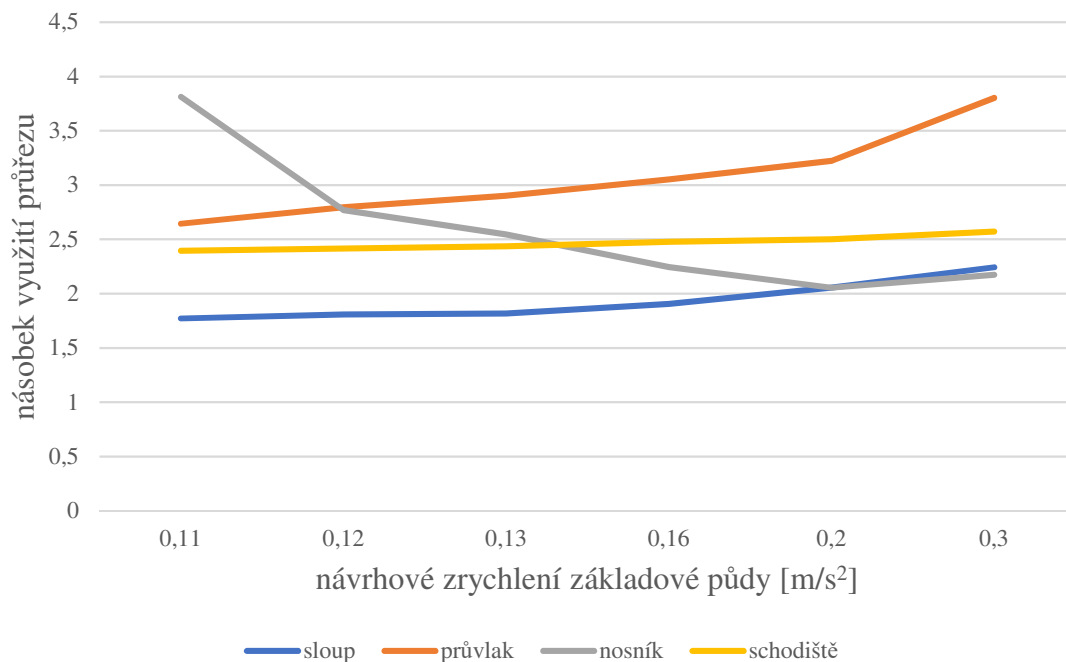
Vliv součinitele duktility na využití průřezu sloupu HEB 300



Obr. 79 – Graf vlivu součinitele duktility na využití průřezu HEB 300

Nakonec je uveden graf, který vyhodnocuje vliv součinitele duktility na využití skupiny prvků. Z něj je možné vyčíst, že se zvyšujícím se zrychlením základové půdy má součinitel největší vliv na využití průvlaků s náběhy. Naopak u výplňových nosníků má zprvu velký vliv a se zvyšujícím se zrychlením se vliv součinitele snižuje.

Vliv součinitele duktility na využití průřezu



Obr. 80 – Graf vlivu součinitele duktility na využití průřezu prvků

6 Závěr

Byl proveden statický posudek prostorové rámové konstrukce, která slouží k uchycení a obsluze technologie pro výrobu plastových fólií. Posudek byl proveden na mezní stav únosnosti a na mezní stav použitelnosti podle požadavků investora.

Jelikož konstrukce nebyla zatím navrhována na seizmicky aktivním území, bylo předmětem zájmu vyhodnotit, zda bude mít seizmické zatížení zásadní vliv na návrh hlavních nosných prvků. Byla proto provedena studie, která porovnává využití průřezu jednotlivých prvků za různé intenzity návrhového zrychlení základové půdy. Bylo využito dvou hodnot součinitele duktility, přičemž první hodnota je konzervativní a druhá zohledňuje, že se jedná o rámovou konstrukci, ve které se disipuje energie mezi jednotlivými prvky a konstrukce tak lépe odolává seizmickým účinkům.

Výsledkem bylo, že využití víceméně všech prvků se dvakrát snížilo pokud bylo zohledněno rámového působení. Můžeme konstatovat, že zavedené imperfekce v základním návrhu jsou bezpečně vysoké hodnoty a na území České republiky by konstrukce vyhověla i za působení seizmických sil. Zvýšená pozornost by se musela věnovat tuhým spojům konstrukce, aby skutečně docházelo k přenosu energie mezi prvky.

Díky vypracování této bakalářské práce jsem se seznámila s problematikou seizmicity, získala jsem přehled o jednotlivých veličinách, které vstupují do výpočtu seizmických sil a jaká je jejich závislost. Nabyté poznatky a vědomosti o tomto tématu určitě využiji v dalším studiu nebo praxi a chtěla bych je dále rozvíjet.

7 Seznam použitých norem a podkladů

7.1 Použité normy

- [1] ČSN EN 1990 ed.2 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. UNMZ, 2011 (včetně změna a oprav):.
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení stavebních konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. ČNI, 2004 (včetně změn a oprav).
- [3] ČSN EN 1993-1-1 ed.2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha, ÚNMZ, 2011 (včetně změn a oprav).
- [4] ČSN EN 1998-1: Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby. ČNI, 2006 (včetně změn a oprav).

7.2 Podklady

- [5] Podklady společnosti Institut ocelových konstrukcí, spol. s r. o.

8 Seznam obrázků a tabulek

8.1 Obrázky

Obr. 1 - Model posuzované konstrukce	10
Obr. 2 - Schéma plošiny +15,000 m	11
Obr. 3 - Schéma plošiny +12,000 m	12
Obr. 4 - Schéma plošiny +8,600 m	12
Obr. 5 - Schéma plošiny +4,600 m	13
Obr. 6 - Schéma plošiny +3,600 m	13
Obr. 7 - Schéma sloupů.....	14
Obr. 8 - Schéma schodišť.....	15
Obr. 9 - Stálé zatížení (vlevo - zatížení od podlah, vpravo - zatížení od roštů)	18
Obr. 10 - Rozmístění technologie na plošině +15,000 m [5].....	18
Obr. 11 - Zatížení od AB2600 na plošině +15,000 m.....	19
Obr. 12 - Zatížení od +E60 na plošině +15,000 m	19
Obr. 13 - Rozmístění technologie na plošině +8,600 m [5].....	19
Obr. 14 - Zatížení od více strojů technologie na plošině +8,600 m.....	20
Obr. 15 - Zatížení od +EXA25 a CWH10 na plošině +8,600 m	20
Obr. 16 - Zatížení od klimatizace na plošině +8,600 m - 1	20
Obr. 17 - Zatížení od klimatizace na plošině +8,600 m - 2	21
Obr. 18 - Nezařazené zatížení na plošině +8,600 m - 1	21
Obr. 19 - Nezařazené zatížení na plošině +8,600 m - 2.....	21
Obr. 20 - Nezařazené zatížení na plošině +8,600 m - 3.....	22
Obr. 21 - Zatížení od osamělých momentů na plošině +8,600 m.....	22
Obr. 22 - Rozmístění technologie na plošině +4,600 m [5].....	22
Obr. 23 - Zatížení od CPA71 na plošině +4,600 m	23
Obr. 24 - Zatížení od EXA20 na plošině +4,600 m.....	23
Obr. 25 - Zatížení od chladičů na plošině +4,600 m.....	23
Obr. 26 - Zatížení od AB2600 na plošině +4,600 m.....	24
Obr. 27 - Rozmístění technologie na plošině +3,600 m [5].....	24
Obr. 28 - Zatížení od EXA23 na plošině +4,600 m.....	24
Obr. 29 - Zatížení od AB2600 na plošině +4,600 m.....	25
Obr. 30 - Nezařazená zatížení na plošině +4,600 m - 1	25
Obr. 31 - - Nezařazené zatížení na plošině +4,600 m - 2	25
Obr. 32 - Vertikální zatížení od technologie.....	25
Obr. 33 - Užité zatížení (vlevo - plošina +3,600 m; vpravo - plošina +4,600 m).....	26
Obr. 34 - Užité zatížení (vlevo - plošina +12,000 m; vpravo - plošina +15,000 m).....	26
Obr. 35 - Užité zatížení na plošině +8,600 m	26
Obr. 36 - Užité zatížení na schodišti (vlevo - schodiště z 0,000 do +3,600 m; vpravo – schodiště z +3,600 do +4,600 m).....	27
Obr. 37 - Užité zatížení na schodišti (vlevo – schodiště z 4,600 do +8,600 m; vpravo – schodiště z +8,600 do +12,000 m).....	27
Obr. 38 - Užité zatížení na schodišti z +12,000 do +15,000 m	27
Obr. 39 - Imperfekce ve směru osy Y (vlevo - Y +; vpravo - Y -).....	28
Obr. 40 - Imperfekce ve směru osy X (vlevo - X +; vpravo - X -).....	28
Obr. 41 - Imperfekce ve směru osy Y (vlevo - Y + Y -; vpravo - Y - Y +)	28
Obr. 42 - 5% horizontální zatížení ve směru osy Y (vlevo - Y +; vpravo - Y -).....	29
Obr. 43 - 5% horizontální zatížení ve směru osy X (vlevo - X +; vpravo - X -).....	29

Obr. 44 - 10% horizontální zatížení ve směru osy Y (vlevo - Y +; vpravo - Y -)	30
Obr. 45 - 10% horizontální zatížení ve směru osy X (vlevo - X +; vpravo - X -)	30
Obr. 46 - Sloup HEB 300 (vlevo – průřez HEB 300; vpravo – vyznačené prvky průřezu HEB 300)	31
Obr. 47 - Průběh Misesova napětí na prvcích průřezu HEB 300	32
Obr. 48 - Obálky vnitřních sil (vlevo - N; uprostřed - My; vpravo Mz)	32
Obr. 49 - Posouzení prvků průřezu HEB 300	36
Obr. 50 – Průvlak IPE 360 + Ivar 250 (vlevo – průřez IPE 360 + Ivar 250; vpravo – vyznačené prvky průřezu)	37
Obr. 51 - Průběh Misesova napětí na prvcích průřezu IPE 360 + Ivar 250	38
Obr. 52 - Obálky vnitřních sil na posuzovaném průvlaku (vlevo - N; uprostřed - My; vpravo - Mz)	38
Obr. 53 - Naznačení míst posouzení	39
Obr. 54 - Posouzení prvků průřezu IPE 360 + Ivar 250	41
Obr. 55 - Nosník IPE 300 (vlevo - průřez IPE 300; vpravo - vyznačené prvky průřezu IPE 300)	42
Obr. 56 - Průběh Misesova napětí na prvcích průřezu IPE 300	43
Obr. 57 - Obálky vnitřních sil (vlevo - N; uprostřed - My; vpravo - Mz)	43
Obr. 58 - Posouzení prvků průřezu IPE 300	45
Obr. 59 - Nosník schodiště UNP 200 (vlevo - průřez UNP 200; vpravo - vyznačené prvky průřezu UNP 200)	46
Obr. 60 - Průběh Misesova napětí na prvcích průřezu UNP 200	47
Obr. 61 - Posouzení prvků průřezu UNP 200	50
Obr. 62 - Schéma spoje průvlaku na sloup	54
Obr. 63 - Schéma přípoje nosníku na průvlak	58
Obr. 64 - Maximální průhyb průvlaku	51
Obr. 65 - Maximální průhyb nosníku	52
Obr. 66 - Posuny horní plošiny pro posouzení MSP - 5%	52
Obr. 67 - Posuny horní plošiny pro posouzení na MSP - 10%	53
Obr. 68 - Mapa seizmických oblastí České republiky [4]	65
Obr. 69 - Tvar spektra pružné odezvy [4]	66
Obr. 70 - Tvar spektra pružné odezvy typu 1 pro půdy třídy A až E (5% tlumení) [4]	66
Obr. 71 - Tvar spektra pružné odezvy typu 2 pro půdy A až E (5% tlumení) [4]	67
Obr. 72 - První vlastní tvar konstrukce (vlevo – axonometrický pohled; vpravo – pohled proti směru osy X)	73
Obr. 73 - Zatížení od účinné seismicity ve směru osy Y (vlevo - Y +; vpravo - Y -)	75
Obr. 74 - Druhý vlastní tvar konstrukce (vlevo – axonometrický pohled; vpravo – pohled proti směru osy Y)	76
Obr. 75 - Zatížení od účinné seismicity ve směru osy X (vlevo - X +; vpravo - X -)	77
Obr. 76 - Mapa seizmických oblastí pro Evropu [http://www.seismo.ethz.ch/static/GSHAP/]	80
Obr. 77 - Vyznačený rozhodující prvek průřezu IPE 240	82
Obr. 78 – Vyznačené rozhodující prvky průřezu IPE 200	82
Obr. 79 – Graf vlivu součinitele duktility na využití průřezu HEB 300	84
Obr. 80 – Graf vlivu součinitele duktility na využití průřezu prvků	84

8.2 Tabulky

Tabulka 1 - Popis a průřezové charakteristiky průřezu HEB 300	31
Tabulka 2 - Posouzení prvků průřezu HEB 300	36
Tabulka 3 - Popis a průřezové charakteristiky průřezu IPE 360 + Ivar 250.....	37
Tabulka 4 - Posouzení prvků průřezu IPE 360 + Ivar 250	41
Tabulka 5 - Popis a průřezové charakteristiky průřezu IPE 300	42
Tabulka 6 - Posouzení prvků průřezu IPE 300	45
Tabulka 7 - Popis a průřezové charakteristiky průřezu UNP 200	46
Tabulka 8 - Posouzení prvků průřezu UNP 200	50
Tabulka 9 - Typy základových půd [4].....	64
Tabulka 10 - Třídy významu pozemních staveb [4]	65
Tabulka 11 - Hodnoty parametrů popisující spektrum pružné odezvy typu 1 [4].....	67
Tabulka 12 - Hodnoty parametrů popisující spektrum pružné odezvy typu 2 [4].....	67
Tabulka 13 - Doporučené hodnoty součinitele ψ pro pozemní stavby [1]	69
Tabulka 14 - Hodnoty ϕ pro výpočet $\psi E, i$ [4].....	69
Tabulka 15 - Výsledky modální analýzy z programu SCIA Engineer	73
Tabulka 16 - Hmotnosti pater	74
Tabulka 17 - Posuny pater ve směru osy Y	74
Tabulka 18 - Vodorovné síly od účinků seismického zatížení ve směru osy Y	75
Tabulka 19 - Hmotnosti pater	76
Tabulka 20 - Posuny pater ve směru osy X	76
Tabulka 21 - Vodorovné síly od účinků seismicity ve směru osy X	77
Tabulka 22 - Srovnání využití průřezu prvků.....	78
Tabulka 23 - Návrhové zrychlení základové půdy různé intenzity	80
Tabulka 24 - Přehled využití průřezu prvků za různé intenzity zrychlení základové půdy.....	81
Tabulka 25 - Přehled využití průřezů s použitím součinitele duktility $q = 4$	83

9 Seznam příloh

Příloha č.1 – Statický posudek všech prvků z programu SCIA Engineer

9.1 Výkresy

Výkres č. 1 – Čelní a boční pohledy

Výkres č. 2 – Půdorys plošin +15,000 m a +12,000 m

Výkres č. 3 – Půdorys plošina +8,600 m

Výkres č. 4 – Půdorys plošina +4,600 m a +3,600 m